

ÖFVERSIGT

AF

FINSKA VETENSKAPS-SOCIETETENS

FÖRHANDLINGAR

LXI.

1918—1919.

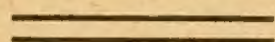
A. MATEMATIK OCH NATURVETENSKAPER.

HÄFTET 1.



HELSINGFORS 1920
HELSINGFORS CENTRALTRYCKERI OCH BOKBINDERI AKTIEBOLAG

INNEHÅLL.





Öfversigt af Finska Vetenskaps-Societetens Förhandlingar.
Bd. LXI. 1918—1919. Afd. A. N:o 1.

Sur quelques fonctions entières qui admettent des valeurs asymptotiques finies.

Par

Felix Iversen.

1. Nous dirons qu'une valeur $w = \omega$ est une *valeur asymptotique* pour la fonction entière $w = f(z)$, s'il y a, dans le plan des z, un chemin Γ_ω allant à l'infini sur lequel $f(z)$ tend vers la limite ω. Dans notre Thèse [1]) nous avons démontré que toute valeur que $f(z)$ ne prend qu'en un nombre fini de points est une valeur asymptotique pour cette fonction. En particulier la valeur $w = \infty$ est donc valeur asymptotique pour toute fonction entière. Les valeurs asymptotiques de $f(z)$ sont dans ces cas des *valeurs exceptionnelles* au sens de M. Picard.

Dans cette Note nous indiquerons deux catégories élémentaires de fonctions entières d'ordre fini, présentant des valeurs exceptionnelles d'un caractère différent qui sont également des valeurs asymptotiques pour ces fonctions.

2. Toute valeur asymptotique $w = \omega$ d'une fonction entière $w = f(z)$ est une *singularité transcendante* pour la *fonction inverse* $z = \varphi(w)$. En effet, la relation $w = f(z)$ fait correspondre à Γ_ω un chemin G_ω dans le plan des w aboutis-

---

[1]) *Recherches sur les fonctions inverses des fonctions méromorphes.* Helsingfors, 1914, p. 23.

sant à ω, et, si l'on prolonge l'élément de $\varphi(w)$ correspondant à un point z_0 de Γ_ω vers ω suivant le chemin G_ω, le point $z=\varphi(w)$ tendra vers l'infini suivant Γ_ω.

Choisissons le point z_0 de manière que l'inégalité $|f(z)-\omega|<r$ reste vérifiée sur le chemin Γ_ω à partir de ce point, r étant un nombre positif donné, et prolongeons l'élément de $\varphi(w)$ correspondant au point z_0 suivant tous les chemins possibles intérieurs au cercle $|w-\omega|\leq r$. Les éléments ainsi obtenus constituent une branche ou *portion* $\varphi_\Delta(w)$ de $\varphi(w)$ qui admet ω comme point transcendant. Les valeurs $z=\varphi_\Delta(w)$ remplissent dans le plan des z un domaine infini $\Delta_\omega(r)$ qui renferme le chemin Γ_ω à partir du point z_0 et à l'intérieur duquel $|f(z)-\omega|<r$, tandis que $|f(z)-\omega|=r$ sur le contour de ce domaine.

Si, pour une valeur suffisamment petite de r, toute branche de $\varphi_\Delta(w)$ tend vers l'infini lorsqu'on s'approche du point ω suivant *un chemin quelconque*, nous avons appelé ω un point transcendant *directement critique* de $\varphi_\Delta(w)$ (*voir* page 40 de notre Thèse). Si au contraire tout élément de $\varphi_\Delta(w)$ tend vers une valeur finie lorsqu'on le prolonge jusqu'au point ω suivant *un rayon arbitraire* (en contournant les points critiques algébriques), ω est dit point transcendant *indirectement critique* de $\varphi_\Delta(w)$ (l. c. p. 46). Dans tout autre cas ω est un point transcendant *directement et indirectement critique* (l. c. p. 52).

De ces définitions on conclut que, si ω est un point transcendant directement critique pour $\varphi_\Delta(w)$, l'équation $f(z)=\omega$ ne présente aucune racine dans le domaine $\Delta_\omega(r)$. Dans les autres cas il y en a une infinité, et les branches correspondantes de $\varphi_\Delta(w)$, qui restent toutes finies pour $w=\omega$, se permutent autour d'une infinité de points critiques algébriques, d'où il suit que la dérivée $f'(z)$ admet une infinité de zéros dans $\Delta_\omega(r)$.

Si, dans $\Delta_\omega(r)$, la dérivée $f'(z)$ est différente de zéro, la portion correspondante $\varphi_\Delta(w)$ de $\varphi(w)$ n'admet aucun point critique en dehors du point transcendant ω, qui est alors forcément directement critique. Dans ce cas $\Delta_\omega(r)$ n'a qu'un seul contour allant de l'infini à l'infini (l. c. p. 40).

3. Rappelons encore ici quelques théorèmes généraux de la théorie des fonctions, dont nous aurons souvent à faire usage dans la suite.

Nous citerons d'abord deux théorèmes sur les fonctions entières, dont le premier est dû à M. Borel[1]) et le second à M. Wiman[2]).

I. *$f(z)$ étant une fonction entière canonique d'ordre réel ϱ et ε un nombre positif arbitrairement petit, on a*

$$|f(z)| < e^{|z|^{\varrho+\varepsilon}}$$

dès que $|z|$ dépassera une certaine limite finie.

II. *Etant donnés deux nombres positifs, k et ε, il existe un nombre R tel que, si, des zéros*

$$z_1, z_2, \ldots, z_n, \ldots$$

de la fonction $f(z)$ comme centres, on décrit les cercles de rayons

$$\frac{1}{|z_1|^k}, \frac{1}{|z_2|^k}, \ldots, \frac{1}{|z_n|^k}, \ldots$$

tout point z où est vérifiée l'inégalité

$$(1) \qquad |f(z)| < e^{-|z|^{\varrho+\varepsilon}}$$

et dont la distance de l'origine est supérieure à R sera compris dans l'un de ces cercles.

Si l'on prend $k > \varrho$, la série $\sum_n |z_n|^{-k}$ converge et sa somme sera donc inférieure à un certain nombre fini K. Il s'ensuit

---

[1]) *Voir* par exemple le livre de M. Borel: *Leçons sur les fonctions entières*, Paris 1900, page 61.

[2]) La démonstration du théorème de M. Wiman a été publiée par M. B. Lindgren dans la Thèse: *Sur le cas d'exception de* M. Picard, Uppsala 1903, p. 22. — *Voir* aussi le Mémoire de M. A. Wiman: *Sur le cas d'exception dans la théorie des fonctions entières*, Arkiv för Mat., Astr. o. Fysik, Bd I, 1904, p. 337.

que la somme des diamètres des cercles en question sera inférieure à $2K$, d'où cette conclusion:

II'. *La plus grande étendue de tout domaine connexe du plan des z dans lequel subsiste l'inégalité* (1) *est inférieure à une limite finie.*

Voici un autre théorème, dû à MM. Phragmén et Lindelöf[1]), dont nous aurons à nous servir dans la suite:

III. *Soient T un domaine connexe infini, compris dans un angle de grandeur $\frac{\pi}{\varrho}$, et $f(z)$ une fonction monogène, holomorphe dans T et vérifiant sur son contour l'inégalité $|f(z)| \leqq C$. Si cette inégalité ne subsiste pas en tout point de T, il y a des points intérieurs à T et arbitrairement éloignés de l'origine où $|f(z)| > e^{|z|^{\varrho-\varepsilon}}$, quelque petit qu'on prenne le nombre positif ε.*

Rappelons enfin le théorème suivant qui a été établi par M. Lindelöf[2]):

IV. *Soit T un domaine infini limité par un seul contour, dont nous désignerons par S_1 et S_2 les deux branches infinies, et soit $f(z)$ une fonction monogène, holomorphe dans T et continue sur son contour, en tout point à distance finie, et qui tend sur S_1 et S_2 vers les limites respectives ω_1 et ω_2 lorsque z s'éloigne vers l'infini. Si $\omega_1 \neq \omega_2$, $f(z)$ prendra à l'intérieur du domaine T, en des points aussi éloignés qu'on voudra, chaque valeur finie donnée, sauf une seule valeur au plus, et il en est de même si $\omega_1 = \omega_2$, à moins que $f(z)$ ne tende uniformément vers cette limite dans T.*

4. Soit maintenant $f(z)$ une fonction entière d'ordre p qui présente une *valeur exceptionnelle finie* ω, telle que l'exposant de convergence ϱ des racines de l'équation $f(z)$

---

[1]) E. Phragmén et Ernst Lindelöf: *Sur une extension d'un principe classique de l'Analyse et sur quelques propriétés des fonctions monogènes dans le voisinage d'un point singulier*, Acta Mathematica, T. 31, 1908, p. 389.

[2]) Ernst Lindelöf: *Sur un principe général de l'Analyse et ses applications à la théorie de la représentation conforme*, Acta Soc. Sc. Fennicae, T. XLVI, 1915, p. 13.

$= \omega$ soit inférieur à p. On sait que l'ordre p est alors entier et que $f(z)$ peut s'écrire

$$(2) \qquad f(z) = \omega + e^{P(z)} \cdot G(z),$$

où $P(z)$ est un polynome de degré p et $G(z)$ un produit canonique d'ordre ϱ.

Soient $A_1, A_2, \ldots, A_p$ et $B_1, B_2, \ldots, B_p$ les angles de grandeur $\frac{\pi}{p}$ dans lesquels la partie réelle de $P(z)$ tend respectivement vers les limites $-\infty$ et $+\infty$, et $\delta_1, \delta_2, \ldots, \delta_{2p}$ les angles de grandeur $\frac{\pi}{\sigma}$ (où σ est $> 2p$ et d'ailleurs aussi grand qu'on voudra) qui admettent comme bissectrices les côtés des angles précédents. Soient enfin $a_1, \ldots, a_p$ et $b_1, \ldots, b_p$ les parties de $A_1, \ldots, A_p$ resp. $B_1, \ldots, B_p$ qui sont extérieures aux angles $\delta_1, \ldots, \delta_{2p}$.

Dans les angles a le produit $e^{P(z)} \cdot G(z)$ tend uniformément vers zéro et, par suite, $f(z)$ vers ω. *La fonction* (2) *présente donc la valeur asymptotique* ω.

Dans tout angle b on a, pour $|z|$ suffisamment grand, $|e^{P(z)}| > e^{A|z|^p}$, A désignant une certaine constante positive. D'autre part, d'après les théorèmes II et II', la fonction $G(z)$ vérifie l'inégalité $|G(z)| > e^{-|z|^{\varrho+\varepsilon}}$ dans toute la partie du plan qui est extérieure à certains domaines d'étendue bornée entourant les zéros de $G(z)$. Donc, si $0 < A' < A$, l'inégalité $|f(z)| > e^{A'|z|^p}$ sera vérifiée en chaque angle b, si l'on en exclut certains domaines dont la plus grande étendue ne dépasse pas une certaine limite finie. Puisque cette même propriété subsiste évidemment dans un angle b' renfermant intérieurement l'angle b, mais compris lui-même dans l'angle B, on en conclut qu'un chemin infini sur lequel $|f(z)|$ reste inférieur à une limite donnée ne saurait avoir, en dehors d'une certaine circonférence, aucun point commun avec l'un des angles b. De cela et de la propriété des angles a rappelée plus haut on conclut que tout chemin infini sur lequel $m < |f(z) - \omega| < M$, où m et M sont des nombres

positifs donnés, reste, à partir d'un certain point, compris dans l'un des angles δ.

Observons encore que, d'après ce qui précède, tout angle intérieur à B renferme des *chemins* Γ_∞ *qui vont à l'infini et sur lesquels* $f(z)$ *tend vers* ∞. En particulier, l'angle b peut être enfermé entre deux chemins de cette espèce.

5. On sait que M. Borel a démontré[1]) que *la fonction* (2) *ne saurait présenter d'autres valeurs exceptionnelles finies du même caractère que* ω. Ce fait résulte aussi immédiatement de ce qui précède. En effet, s'il y en avait une autre, $\bar{\omega}$ $(\neq \omega)$, il existerait p angles $\bar{A}_1, \ldots, \bar{A}_p$ de grandeur $\frac{\pi}{p}$ tels que, dans tout angle intérieur à l'un d'eux, $f(z)$ tendrait uniformément vers $\bar{\omega}$. Aucun de ces angles $\bar{A}$ ne saurait avoir de partie commune avec un angle A, puisque, sur un rayon de cette partie commune, $f(z)$ devrait tendre à la fois vers ω et vers $\bar{\omega}$. Les angles $\bar{A}$ se confondraient donc avec les angles B. Mais ceci est également impossible, d'après ce que nous avons dit au nº 4, à l'égard des angles b.

D'une façon plus précise, on peut démontrer que *la fonction* (2) *ne présente aucune valeur asymptotique finie autre que* ω. En effet, si ω' était une telle valeur et $\Gamma_{\omega'}$ un chemin infini sur lequel $f(z)$ tend vers ω', ce chemin, d'après le numéro précédent, resterait à partir d'un certain point compris dans l'un des angles δ. Mais, sur le côté commun de cet angle δ et de l'angle a contigu, $f(z)$ tend vers ω, et nous aurions donc dans l'angle δ, qui est inférieur à $\frac{\pi}{2p}$, deux chemins allant à l'infini, à savoir $\Gamma_{\omega'}$ et le côté de l'angle δ en question, sur lesquels $f(z)$ tendrait respectivement vers les limites différentes ω' et ω. D'après le théorème IV la fonction $f(z)$ ne saurait être bornée entre ces chemins, et, en vertu du théorème III, son module y devrait donc dépasser la limite $e^{z^{2p-\varepsilon}}$ en des points aussi éloignés de l'origine qu'on veut. Or cette conclusion contredit le théorème I, et notre assertion est ainsi démontrée.

---

[1]) *Voir* par exemple le Chapitre V de l'Ouvrage de M. Borel cité p. 3.

6. La fonction inverse $z = \varphi(w)$ de la fonction (2) présente la singularité transcendante $w = \omega$, mais n'admet, d'après ce qui précède, aucune autre singularité transcendante à distance finie. Nous verrons que *le point transcendant* ω *peut être ou bien directement, ou bien indirectement critique*, et que ceci dépend des arguments des racines de l'équation $f(z) = \omega$ ou des zéros de $G(z)$, mais nullement de leurs modules, ni, par suite, de l'ordre ϱ de $G(z)$. En d'autres termes, *il peut arriver qu'une infinité de branches de* $\varphi(w)$ *tendent vers l'infini lorsqu'on les prolonge vers* ω *suivant un chemin quelconque, tandis que, pour une autre disposition des arguments des zéros de* $G(z)$, *toute branche de* $\varphi(w)$, *prolongée vers* ω *suivant un rayon arbitraire, tend vers l'un de ces zéros, donc vers une limite finie, et cela quelque petite que soit la densité des zéros en question.*

7. Nous avons déjà dit que $f(z)$ tend uniformément vers ω dans les angles a. D'autre part, d'après ce qui a été dit à la fin du nº 4, tout angle b peut être enfermé entre deux chemins Γ_∞ sur lesquels $f(z)$ tend vers l'infini, compris respectivement dans les deux angles δ avoisinants.

Décrivons maintenant de l'origine comme centre une circonférence C sur laquelle $f(z) \neq \omega$ et désignons par μ le minimum de $|f(z) - \omega|$ sur C. Si l'on a pris le rayon de C suffisamment grand, $|f(z) - \omega|$ sera supérieur à μ sur les portions extérieures à C des différentes courbes Γ_∞ définies ci-dessus. Cela étant, fixons un nombre $r < \mu$, puis prenons, sur la bissectrice de l'angle a_n, le point z_n le plus éloigné où $|f(z) - \omega| = r$, et désignons par $\varphi_{z_n}(w)$ l'élément de la fonction inverse $z = \varphi(w)$ de la fonction (2) correspondant à ce point.

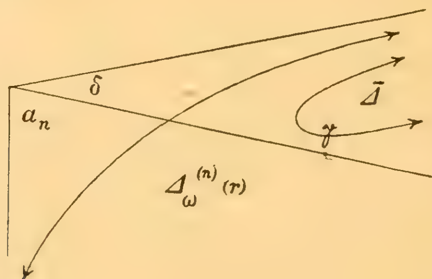
Si l'on prolonge cet élément $\varphi_{z_n}(w)$ de toutes les manières possibles dans le cercle $|w - \omega| \leq r$, les points correspondants $z = \varphi(w)$ rempliront un domaine bien déterminé $\Delta_\omega^{(n)}(r)$ (*voir* nº 2), qui est nécessairement infini puisqu'il renferme toute la portion de la bissectrice de a_n située au delà du point z_n. D'après la manière dont nous avons déterminé le nombre r, le domaine $\Delta_\omega^{(n)}(r)$ est situé tout entier en dehors de la circonférence C et, d'autre part, compris

entre les deux courbes Γ_∞ situées de côté et d'autre de l'angle a_n. Il s'ensuit que le contour extérieur du domaine $\Delta_\omega^{(n)}(r)$ s'étend à l'infini dans l'un et l'autre des deux angles δ contigus à l'angle a_n en question.

Aux angles $a_1, \ldots, a_p$ nous avons ainsi fait correspondre des domaines infinis bien déterminés $\Delta_\omega^{(1)}(r), \ldots, \Delta_\omega^{(p)}(r)$ jouissant des propriétés que nous venons d'énoncer.

On peut démontrer que ce sont là les seuls domaines $\Delta_\omega(r)$ infinis (*cf.* la définition donnée au nº 2), et, d'autre part, que chacun de ces domaines ne comporte qu'un seul contour.

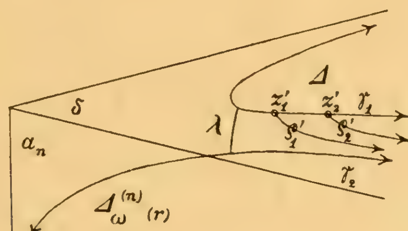
Si le domaine $\Delta_\omega^{(n)}(r)$ présentait, outre le contour extérieur, un contour intérieur γ, nécessairement infini, celui-ci



admettrait deux branches qui s'étendraient à l'infini dans l'un des angles δ contigus à a_n. Sur le contour γ on aurait $|f(z)-\omega|=r$, tandis que, à l'intérieur du domaine $\bar{\Delta}$ qu'il limite, il y aurait des points où $|f(z)-\omega|>r$. Comme $\bar{\Delta}$ peut être enfermé dans un angle de grandeur δ $\left(<\frac{\pi}{2p}\right)$, on aurait dès lors, d'après le théorème III, $|f(z)-\omega|>e^{|z|^{2p-\varepsilon}}$ en des points arbitrairement éloignés de l'origine, ce qui n'est pas possible.

Pour démontrer qu'il n'y a, hors des domaines $\Delta_\omega^{(n)}(r)$ considérés plus haut, aucun domaine infini $\Delta_\omega(r)$, observons d'abord que, s'il y avait un tel domaine Δ, celui-ci serait compris, à partir d'une certaine distance de l'origine, dans l'un des angles δ_n. Dans cet angle on aurait alors deux

branches de courbe infinies, γ_1 et γ_2, faisant respectivement partie du contour de Δ et du contour du domaine $\Delta_{\omega}^{(n)}(r)$ avoisinant telles que l'inégalité $|f(z)-\omega|>r$ serait vérifiée en tout point situé entre ces deux branches et suffisamment rapproché de l'une ou de l'autre. Lorsque z parcourt l'une de ces branches, soit γ_1, le point $w=f(z)$ décrit une infinité de fois la circonférence $|w-\omega|=r$. En effet, dans le cas contraire, il tendrait nécessairement vers un point déterminé de cette circonférence, et la valeur correspondante $\bar{w}$ serait par suite une valeur asymptotique finie de $f(z)$ distincte de ω. Mais, d'après le n° 4, $f(z)$ n'admet, hors de ω, aucune valeur asymptotique finie.



Ceci posé, joignons γ_1 et γ_2 par un chemin λ, prenons un point w' de la circonférence $|w-\omega|=r$, et désignons par $z_1', z_2', \ldots, z_n', \ldots$ les racines de l'équation $f(z)=w'$ situées sur γ_1 au delà de λ. Prolongeons ensuite les éléments de la fonction inverse $z=\varphi(w)$ de $w=f(z)$ correspondant aux différents points $z_1', z_2', \ldots$ depuis w' à l'infini dans la direction $\arg(w-\omega)=\arg(w'-\omega)$, en contournant d'une manière déterminée les points critiques algébriques. Les différentes branches $z=\varphi(w)$ décrivent alors des chemins ϱ_1', $\varrho_2', \ldots$ distincts entre eux et s'étendant respectivement des points $z_1', z_2', \ldots$ à l'infini. Sur chacun de ces chemins on aura $\arg(f(z)-\omega)=\arg(w'-\omega)$ et $|f(z)-\omega|>r$. Les chemins $\varrho_1', \varrho_2', \ldots$ ne sauraient par suite couper les courbes γ_1 et γ_2, puisque sur celles-ci $|f(z)-\omega|=r$. Ou bien ils doivent donc tous traverser le chemin λ, ou bien l'un au moins d'entre eux doit s'étendre à l'infini entre γ_1 et γ_2. Or la première conclusion impliquerait cette absurdité qu'il

y aurait sur le chemin λ, choisi arbitrairement, un nombre infini de points où $\arg (f(z)-\omega) = \arg (w'-\omega)$, et la seconde nous amènerait à une contradiction avec le théorème III du n⁰ 3, lorsqu'on se rappelle que l'angle δ, qui renferme γ_1 et γ_2, est inférieur à $\frac{\pi}{2p}$. Notre assertion est donc prouvée.

8. Nous avons ainsi trouvé que, dès qu'on aura pris le nombre r suffisamment petit, il y a, dans le plan des z, précisément p domaines infinis $\varDelta_\omega(r)$, à savoir ceux que nous avons appelés $\varDelta_\omega^{(1)}(r), \ldots, \varDelta_\omega^{(p)}(r)$. Chaque domaine $\varDelta_\omega^{(n)}(r)$ renferme toute la partie de l'angle a_n correspondant qui est extérieure à une certaine circonférence, et admet un seul contour qui s'étend à l'infini dans les deux angles δ contigus à a_n. Tout autre domaine $\varDelta_\omega(r)$ est nécessairement fini, et la fonction $w = f(z)$ en donne la représentation conforme sur une surface de Riemann à un nombre fini de feuillets, étendue sur le cercle $|w-\omega| \leq r$.

Si l'on a pris r suffisamment petit, l'équation $f(z) = \omega$ ou bien n'admettra aucune racine, ou bien en admettra une infinité dans l'un quelconque des domaines $\varDelta_\omega^{(n)}(r)$.

9. Après ces préliminaires, abordons l'examen détaillé du point transcendant $w = \omega$ de la fonction inverse $z = \varphi(w)$ de la fonction (2).

D'après le n⁰ 2, la valeur ω sera forcément une singularité transcendante *directement critique* pour les portions $\varphi_\Delta(w)$ de la fonction inverse $z = \varphi(w)$ correspondant aux différents domaines infinis $\varDelta_\omega^{(n)}(r)$, si les racines de l'équation $f(z) = \omega$, qui coïncident avec les zéros de $G(z)$, sont toutes extérieures auxdits domaines. Ceci arrive sûrement dans le cas où *tous les zéros de $G(z)$ de module suffisamment grand appartiennent aux angles b_n*. D'après le n⁰ 4, la plus grande étendue d'un domaine fini $\varDelta_\omega(r)$ quelconque est alors inférieure à une limite finie. Il s'ensuit que, w' étant un point arbitraire intérieur au cercle $|w-\omega| \leq r$ mais distinct de ω, les racines $z_1', z_2', \ldots, z_n', \ldots$ de l'équation $f(z) = w'$, dont l'exposant de convergence est nécessairement égal à p, peuvent être divisées en deux catégories: 1⁰ celles qui appartiennent aux domaines finis $\varDelta_\omega(r)$ et dont l'exposant de

convergence se confond avec l'exposant de convergence ϱ des zéros de $G(z)$, et 2° celles qui appartiennent aux domaines infinis $\varDelta_\omega(r)$ et dont l'exposant de convergence est égal à p.

Si on prolonge les différentes branches de $z=\varphi(w)$ depuis le point w' du cercle $|w-\omega|\leq r$ vers ω suivant un chemin intérieur audit cercle, z tend toujours vers une limite finie. donc vers l'un des zéros de $G(z)$, si la valeur initiale $\varphi(w')$ de la branche en question se confond avec une racine de la première catégorie, mais vers l'infini, si $\varphi(w')$ est une racine de la seconde catégorie. Les racines de la première catégorie peuvent donc être regardées comme correspondant aux racines finies, celles de la seconde catégorie aux racines infinies de l'équation $f(z)=\omega$.

Ces conclusions subsistent encore, excepté peut-être pour un nombre fini de branches de la fonction $\varphi(w)$, si l'on y remplace w' par une valeur finie quelconque $\bar{w}'$ et si l'on fait décrire à w une ligne finie quelconque g joignant $\bar{w}'$ au point ω.

Choisissons, en effet, un nombre $\bar{r}$ ($>r$) assez grand pour que le cercle $|w-\omega|\leq\bar{r}$ renferme le chemin g, et faisons croître le nombre r d'une manière continue jusqu'à la valeur $\bar{r}$. Les différents domaines $\varDelta_\omega(r)$ considérés ci-dessus iront constamment en s'élargissant, et certains d'entre eux pourront se réunir en un seul domaine connexe. Mais, en vertu des résultats établis au nº 4, les domaines *finis* $\varDelta_\omega(r)$ qui sont extérieurs à une certaine circonférence resteront d'étendue *bornée*, et parmi les racines de l'équation $f(z)=w$, il ne saurait donc y en avoir qu'un nombre fini qui, lorsque w varie de w' à $\bar{w}'$ suivant un chemin compris dans le cercle $|w-\omega|\leq\bar{r}$, sortent des domaines finis $\varDelta_\omega(r)$ pour entrer dans les domaines infinis $\varDelta_\omega(\bar{r})$.

Nous arrivons ainsi à ce résultat:

Etant donnés une valeur arbitraire w' et un chemin quelconque g joignant le point w' au point ω, les racines de l'équation $f(z)=w'$ peuvent être divisées en deux catégories: 1° celles qui tendent vers des valeurs finies lorsqu'on fait tendre w' vers ω suivant g et 2° celles qui tendent vers l'infini. L'exposant de convergence des racines de la première catégorie est toujours

le même que celui des zéros de $G(z)$, c'est à dire égal à ϱ, tandis que l'exposant de convergence des racines de la seconde catégorie est égal à l'ordre p de la fonction donnée $f(z)$ et, par suite, supérieur à ϱ.

10. Afin d'exposer sous une forme aussi nette que possible le cas où ω est un point transcendant *indirectement critique* pour $\varphi(w)$, considérons la fonction très simple

$$(3) \qquad f(z)=e^{z}.\ G(z),$$

où $G(z)$ est d'ordre ϱ inférieur à *un*. Nous supposons que *les zéros de $G(z)$ sont conjugués deux à deux et qu'il y en a une infinité sur l'axe réel négatif.* La fonction (3) rentre bien dans la classe (2), la valeur exceptionnelle ω étant égale à 0.

Il y a dans ce cas, quel que soit le nombre positif r, un seul domaine infini $\Delta_0(r)$, lequel est symétrique par rapport à l'axe réel et renferme la partie infinie de cet axe située à gauche d'un certain point.

Nous allons voir que $\omega=0$ est un point transcendant indirectement critique pour la fonction inverse $z=\varphi(w)$ de la fonction (3). A cet effet il nous faut montrer que toute branche de la portion $z=\varphi_{\Delta}(w)$ de $\varphi(w)$ qui correspond au domaine infini $\Delta_0(r)$ tend vers une valeur finie, donc vers un zéro de $G(z)$, lorsque w s'approche du point transcendant $\omega=0$ suivant un rayon arbitraire.

Prenons un point quelconque w' de la circonférence $|w|=r$ qui n'est pas situé sur l'axe réel, et prolongeons un élément de $\varphi_{\Delta}(w)$ depuis w' suivant le rayon issu de ce point jusqu'à l'origine. Le point $z=\varphi_{\Delta}(w)$, partant d'un point du contour de $\Delta_0(r)$, décrit alors un chemin ϱ' qui reste intérieur audit domaine et sur lequel la fonction $f(z)$ tend vers zéro, son argument étant constamment égal à arg w'. Le chemin ϱ' ne peut pas couper l'axe réel, puisque $f(z)$ y est réelle. Puisque la fonction $f(z)$ prend aux points conjugués des valeurs conjuguées, elle tend vers zéro aussi sur le chemin $\bar{\varrho}'$ conjugué à ϱ', mais de sorte qu'on y ait arg $f(z)=-$arg w'.

Si maintenant ϱ', et par suite aussi $\bar{\varrho}'$, s'étendait à l'infini, ces deux courbes et le segment γ du contour de

Δ_0 (r) qui est compris entre elles, limiteraient une portion infinie Δ' du domaine Δ_0 (r). Dans Δ' $f(z)$ admet, par hypothèse, une infinité de zéros, situés sur l'axe réel négatif, tandis que l'équation $f(z)=w'$ n'y a qu'un nombre fini ν de racines, situées toutes sur la courbe γ. Ceci posé, choisissons ν' ($>\nu$) éléments de $\varphi_\Delta(w)$ correspondant respectivement à ν' zéros distincts de $f(z)$ intérieurs à Δ', et prolongeons ces éléments depuis l'origine vers le point w' suivant un chemin intérieur au cercle $|w| \leq r$ qui ne rencontre pas les rayons $\arg w = \pm \arg w'$. Les points $z=\varphi_\Delta(w)$ qui correspondent respectivement auxdits éléments tendront vers ν' racines distinctes de l'équation $f(z)=w'$, en restant toujours compris dans le domaine Δ'. Or ceci est impossible, puisqu'il n'y a que ν racines de cette équation qui appartiennent à Δ'. Cette contradiction prouve que ϱ' ne saurait s'étendre à l'infini.

Supposons maintenant la valeur w' réelle. Le rayon $(0, w')$, suivant lequel on prolonge $\varphi_\Delta(w)$ vers le point transcendant $\omega=0$, se confond avec l'axe réel et $f(z)$ est donc réelle sur les courbes ϱ' et $\bar{\varrho}'$ correspondant à ce rayon.

Observons d'abord que la courbe ϱ' ne saurait s'étendre à l'infini suivant l'axe réel négatif, puisque celui-ci comprend, par hypothèse, des zéros de $f(z)$.

Il nous suffit, par suite, de distinguer les deux cas suivants: ou bien la courbe ϱ', supposée infinie, admet au plus un point (ou un segment) commun avec l'axe réel, en restant à partir de ce point extérieure à cet axe, ou bien elle présente un segment fini extérieur à l'axe réel dont les extrémités fassent partie de cet axe.

Dans la première hypothèse, on arrive à une contradiction par le même raisonnement que ci-dessus. Dans la deuxième hypothèse, on aurait dans le plan des z un domaine fini, limité par le segment considéré de ϱ' et le segment conjugué de $\bar{\varrho}'$, dans lequel la fonction $f(z)$ serait holomorphe en restant réelle sur son contour. La partie imaginaire de $f(z)$, étant nulle sur ce contour, serait donc nulle aussi à l'intérieur du domaine, et $f(z)$ se réduirait ainsi à une constante, ce qui n'a pas lieu.

Nous avons ainsi trouvé que toute branche de $\varphi_\Delta(w)$ tend vers une valeur finie lorsque w s'approche du point transcendant $\omega=0$ suivant un rayon arbitraire. Ce point est donc bien un point transcendant indirectement critique pour $\varphi_\Delta(w)$.

Admettons encore que, pour $|z|$ suffisamment grand, *$G(z)$ est différente de zéro dans certains angles (arbitrairement petits d'ailleurs) qui renferment l'axe imaginaire.* Dans ce cas il suit du nº 4 que, quel que soit r, la plus grande étendue d'un domaine fini $\Delta_0(r)$ quelconque à l'intérieur duquel $|f(z)|<r$ et sur le contour duquel $|f(z)|=r$, reste inférieure à une limite finie. Si w' désigne une valeur quelconque appartenant au cercle $|w|\leq r$, mais différente de zéro, les racines de l'équation $f(z)=w'$ peuvent donc être divisées en deux catégories: 1º celles qui appartiennent aux domaines finis $\Delta_0(r)$, et dont l'exposant de convergence ne dépasse certainement pas la valeur ϱ, et 2º celles qui font partie du domaine infini $\Delta_0(r)$, et dont l'exposant de convergence est égal à p. Chaque branche de $\varphi(w)$ tend vers une valeur finie lorsque w décrit le rayon $(0, w')$ depuis w' à zéro; mais tandis que, pour les éléments $\varphi(w')$ qui correspondent aux racines de la première catégorie, le module $|\varphi(w')-\varphi(0)|$ reste borné, il dépassera, pour les éléments correspondant aux racines de la seconde catégorie, toute limite donnée. D'autre part, tandis que l'élément de $\varphi(w)$ correspondant à une racine de la première catégorie tend toujours vers une valeur finie de quelque manière que w s'approche de $\omega=0$, pourvu qu'il ne sorte pas du cercle $|w|\leq r$, il existe toujours, pour un élément de $\varphi(w)$ correspondant à une racine de la seconde catégorie, un chemin intérieur audit cercle qui aboutit à $\omega=0$ et sur lequel $\varphi(w)$ tend vers l'infini [1]).

[1]) Dans son Mémoire: *Sur les points critiques transcendants* (Annales de Toulouse, II Série, Tome IX, 1907) M. Rémoundos dit que *la fonction inverse d'une fonction entière de la forme* (2) *présente des branches qui tendent vers l'infini lorsque w s'approche de la valeur exceptionnelle ω suivant un chemin quelconque*, et il s'appuie de nouveau sur cette assertion dans une Note récente: *Sur la classification des points transcendants des inverses des fonctions entières ou méromorphes* (Comptes Rendus, Tome 165, 1917, p. 331). Or la fonction (3) prouve nettement l'inexactitude de cette assertion, de

11. La seconde catégorie de fonctions entières annoncée au nº 1 est celle des fonctions d'ordre fini dont la dérivée n'admet qu'un nombre fini de zéros. Toute fonction de cette espèce peut s'écrire

$$f(z) = \int_{z_0}^{z} e^{P(z)}\, Q(z)\, dz, \tag{4}$$

où $P(z)$ et $Q(z)$ sont des polynomes. L'ordre de la fonction (4) se confond avec le degré p de $P(z)$.

Soient $\Gamma_1, \ldots, \Gamma_p$ les chemins du plan des z sur lesquels $P(z)$ tend vers l'infini par des valeurs réelles et positives, $T_1, \ldots, T_p$ les domaines infinis limités par ces chemins et une circonférence arbitrairement grande. Les chemins Γ_n s'approchent asymptotiquement de certaines droites parallèles à des rayons bien déterminés R_n issus de l'origine et faisant entre eux l'angle $\frac{2\pi}{p}$. *Sur les chemins Γ_n la fonction $f(z)$ tend vers l'infini*[1], d'où l'on conclut que tout chemin allant à l'infini sur lequel $f(z)$ est bornée appartient, à partir d'un certain point, à l'un des domaines T_n.

Partageons chacun des p angles compris entre les rayons successifs R_n en quatre parties égales, et désignons par $A_1, \ldots, A_p$ les angles de grandeur $\frac{\pi}{p}$ formés par les deux parties médianes. Sur un rayon intérieur à un angle A_n, la fonc-

même que les fonctions traitées aux nos 9 et 10 nous semblent propres à faire voir clairement l'insuffisance de la classification des points transcendants des fonctions inverses proposée par M. Rémoundos dans la Note citée, et qui se fonde exclusivement sur la comparaison de l'ordre de $f(z)$ avec l'exposant de convergence ϱ des racines de l'équation $f(z) = \omega$ (*cf.* notre Note: *Sur les valeurs asymptotiques des fonctions méromorphes et les singularités transcendantes de leurs inverses* insérée dans les Comptes Rendus, Tome 166, 1918, p. 156).

[1]) En effet, G_n désignant la courbe du plan des $w = f(z)$ correspondant à Γ_n, et φ et Φ les arguments des tangentes aux courbes Γ_n et G_n respectivement en des points correspondants z et w, on a $\Phi = \varphi + \arg f'(z)$. Mais, puisque l'argument de $e^{P(z)}$ s'évanouit sur Γ_n, on a $\arg f'(z) = \arg Q(z)$ et, par suite, $\Phi = \varphi + \arg Q(z)$. Comme Γ_n est une courbe algébrique, φ tend vers une limite finie, lorsque le point z s'éloigne vers l'infini suivant cette courbe, et il en est donc de même de l'argument du polynome $Q(z)$ Donc Φ tend également vers une limite finie déterminée et, par suite, G_n s'étend à l'infini.

tion $e^{P(z)}$ tend vers zéro, et la fonction (4), par suite, vers une limite finie déterminée ω_n. D'après le théorème fondamental de Cauchy concernant les intégrales définies, $f(z)$ tend uniformément vers ω_n dans chaque angle intérieur à A_n. *La fonction* $f(z)$ *présente donc les valeurs asymptotiques finies* $\omega_1, \ldots, \omega_p$, *correspondant respectivement aux angles* $A_1, \ldots, A_p$.

Il est facile de voir que $f(z)$ *n'admet hors des valeurs* $\omega_1, \ldots, \omega_p$ *aucune valeur asymptotique finie*. En effet, s'il existait une telle valeur ω, tout chemin Γ_ω sur lequel $f(z)$ tend vers ω serait compris à partir d'un certain point dans un domaine déterminé T_n, en restant d'autre part en dehors de toute partie intérieure de l'angle A_n. On pourrait donc choisir à l'intérieur de l'angle A_n un rayon $\Gamma_{\omega n}$ tel que les chemins Γ_ω et $\Gamma_{\omega n}$ seraient compris dans un angle supérieur à $\frac{\pi}{2p}$ d'aussi peu qu'on voudra. Puisque, sur lesdits chemins, la fonction $f(z)$ tend vers des limites différentes, elle ne saurait être bornée dans l'aire comprise entre eux, d'après le théorème IV. Mais alors, en vertu du théorème III, $|f(z)|$ devrait dépasser la limite $e^{z^{2p-\varepsilon}}$ en des points arbitrairement éloignés, ce qui n'a pas lieu.

Il résulte de ce qui précède qu'à toute valeur ω_n correspond un domaine infini $\Delta_{\omega_n}(r)$ (*cf.* nº 2) qui, pour $|z|$ suffisamment grand, renferme tout angle donné intérieur à l'angle A_n. Puisque la dérivée $f'(z)$ de la fonction (4) n'a qu'un nombre fini de zéros, *toutes les valeurs* ω_n *seront*, d'après le nº 2, *des singularités transcendantes directement critiques pour la fonction inverse* $z = \varphi(w)$ *de la fonction* (4). On peut choisir r assez petit pour que les équations $f(z) = \omega_n$ et $f'(z) = 0$ soient toutes deux dépourvues de racines dans le domaine correspondant $\Delta_{\omega_n}(r)$. D'après le nº 2, la portion de $\varphi(w)$ correspondant à $\Delta_{\omega_n}(r)$ n'aura alors aucun autre point critique que le point transcendant ω_n, et le domaine $\Delta_{\omega_n}(r)$ admet un seul contour allant de l'infini à l'infini. Dans la suite nous supposerons le nombre r fixé de telle manière que les domaines $\Delta_{\omega_1}(r), \ldots, \Delta_{\omega_p}(r)$ jouissent tous des propriétés énoncées ici.

Nous ferons voir encore que, hors des p domaines considérés $\Delta_{\omega_1}(r)$, ..., $\Delta_{\omega_p}(r)$ remplissant l'intérieur des angles A_1, ..., A_p respectivement, il n'y a aucun domaine $\overline{\Delta}_{\omega_n}(r)$ infini correspondant à l'une de ces mêmes valeurs ω_1, ..., ω_p. En effet, de ce qui précède il suit que, s'il y avait un tel domaine $\overline{\Delta}_{\omega_n}(r)$, celui-ci devrait faire partie du domaine T_n qui renferme le domaine $\Delta_{\omega_n}(r)$. Mais, à l'aide du raisonnement de la page 9, on prouve que ceci implique une contradiction avec le théorème III.

12. Chacun des chemins Γ_1, ..., Γ_p appartient, à partir d'un certain point, à un domaine infini $\Delta_\infty(\bar{r})$, à l'intérieur duquel $|f(z)| > \bar{r}$ et sur le contour duquel $|f(z)| = \bar{r}$, $\bar{r}$ étant un nombre positif donné. Pour une valeur suffisamment grande de $\bar{r}$ on aura p domaines $\Delta_\infty(\bar{r})$ distincts, correspondant respectivement aux chemins Γ_1,..., Γ_p. Si de plus $\bar{r}$ est pris supérieur aux nombres $|\omega_1| + r$, ..., $|\omega_p| + r$, ces domaines $\Delta_\infty(\bar{r})$ et les domaines $\Delta_{\omega_1}(r)$, ..., $\Delta_{\omega_p}(r)$ seront entièrement extérieurs les uns aux autres. Comme $f'(z)$ n'a qu'un nombre fini de zéros, on aura d'autre part, dour r suffisamment grand, $f'(z) \neq 0$ dans chaque domaine $\Delta_\infty(\bar{r})$. La portion correspondante $\varphi_{\Delta\infty}(w)$ de la fonction inverse $z = \varphi(w)$ de la fonction (4) n'aura alors aucune singularité en dehors du point transcendant $w = \infty$. D'après le n° 2, chacun des domaines $\Delta_\infty(\bar{r})$ en question présente alors un seul contour allant de l'infini à l'infini de côté et d'autre de Γ_n, entre ce chemin et les domaines infinis $\Delta_{\omega_n}(r)$ contigus.

Nous pouvons facilement démontrer qu'il n'y a, hors des p domaines considérés ci-dessus, aucun autre domaine $\Delta_\infty(\bar{r})$. En effet, s'il y en avait un, ce domaine serait situé entre l'un des domaines précédents $\Delta_\infty(\bar{r})$ et un domaine contigu $\Delta_{\omega_n}(r)$, et ferait donc partie d'un angle supérieur à $\frac{\pi}{2p}$ d'aussi peu qu'on voudra. Puisque, en tout domaine $\Delta_\infty(\bar{r})$, le module de $f(z)$ dépasse chaque limite finie donnée, l'antithèse posée nous amènerait ainsi, en vertu du théorème III, à la conclusion que le module de $f(z)$ dépasserait la limite $e^{|z|^{2p-\varepsilon}}$ en des points arbitrairement éloignés, ce qui est impossible.

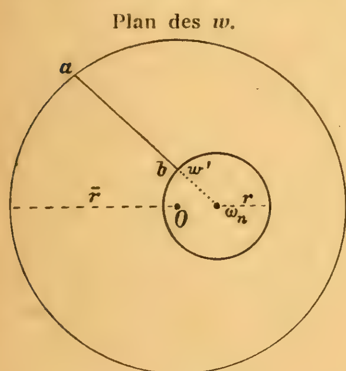
Nous avons ainsi trouvé qu'il existe p domaines $\Delta_\infty(\bar{r})$ renfermant respectivement les chemins $\Gamma_1, \ldots, \Gamma_p$ et, d'autre part, p domaines infinis $\Delta\omega_1(r), \ldots, \Delta\omega_p(r)$ compris respectivement entre deux domaines $\Delta_\infty(\bar{r})$ consécutifs. Chacun de ces domaines est limité par un seul contour allant de l'infini à l'infini. Dans $\Delta\omega_n(r)$ et dans chacun des domaines $\Delta_\infty(\bar{r})$ l'équation $f(z)=\omega_n$ est dépourvue de racines. Enfin la portion de $\varphi(w)$ qui correspond au domaine infini $\Delta\omega_n(r)$ admet comme seule singularité le point transcendant $w=\omega_n$, et celle qui correspond à un domaine $\Delta_\infty(\bar{r})$ le point transcendant $w=\infty$.

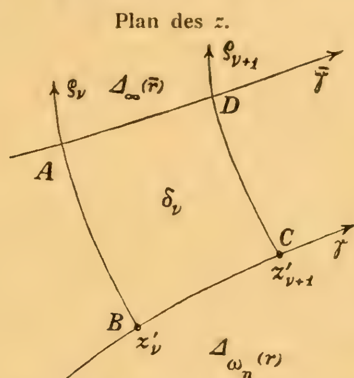
13. Nous ferons voir que *les valeurs asymptotiques* $\omega_1, \ldots, \omega_p$ *sont des valeurs exceptionnelles pour la fonction* $f(z)$, dans ce sens que $f(z)$ *prend à l'intérieur du domaine* T_n (*cf.* page 15) *toute valeur finie donnée, excepté la seule valeur* ω_n, *en une infinité de points.*

De ce qui précède on conclut d'abord que, si l'équation $f(z)=\omega_n$ admettait un nombre illimité de racines dans T_n, une infinité d'entre elles devraient être comprises entre les branches contiguës γ et $\bar{\gamma}$ des contours de $\Delta\omega_n(r)$ et d'un domaine $\Delta_\infty(\bar{r})$ avoisinant. Prenons un point quelconque w' de la circonférence $|w-\omega_n|=r$, et désignons par z_1', $z_2', \ldots, z_\nu', \ldots$ les racines successives de l'équation $f(z)=w'$ situées sur γ au delà d'un certain point. Nous prolongeons l'élément de la fonction inverse $z=\varphi(w)$ correspondant à un point z_ν' depuis $w=w'$ vers l'infini dans la direction $\arg(w-\omega_n)=\arg(w'-\omega_n)$. Par un raisonnement analogue à celui de la page 9 on conclut que, pour une valeur suffisamment grande de ν, le chemin ϱ_ν décrit par $z=\varphi(w)$ s'étend à l'infini à l'intérieur du domaine $\Delta_\infty(\bar{r})$ limité par γ, et qu'il en est de même des autres chemins $\varrho_{\nu+1}$, $\varrho_{\nu+2}, \ldots$ qu'on obtient en prolongeant les éléments de $\varphi(w)$ correspondant aux points $z'_{\nu+1}, z'_{\nu+2}, \ldots$ suivant ledit chemin.

Les courbes γ, $\bar{\gamma}$, ϱ_ν et $\varrho_{\nu+1}$ limitent un domaine fini δ_ν à l'intérieur et sur le contour duquel $f(z)$ est holomorphe. Nous allons voir que, si le domaine δ_ν renferme des racines de l'équation $f(z)=\omega_n$, il renferme aussi au moins une

racine de l'équation $f'(z)=0$. En effet, désignons par m (>0) le nombre des racines de l'équation $f(z)=\omega_n$ intérieures à δ_ν, et faisons décrire au point z le contour de δ_ν une fois en sens direct. L'accroissement que subit l'argument de $(f(z)-\omega_n)$ pendant ce tour étant égal à $2m\pi$, le point correspondant $w=f(z)$ contournera le point $w=\omega_n$ m fois dans le sens direct. Mais aux segments AB et CD du contour de δ_ν correspond le segment rectiligne ab, parcouru deux fois en sens contraires, et au segment BC correspond la circonférence $|w-\omega_n|=r$, parcourue une fois dans le sens *indirect*, puisque l'intérieur de $\varDelta_{\omega_n}(r)$ est représenté sur l'intérieur du cercle $|w-\omega_n|\leq r$ et qu'il n'y a sur la courbe





γ, entre z_ν' et $z'_{\nu+1}$, aucune racine de l'équation $f(z)=w'$. De cela il suit que le point $w=f(z)$ doit décrire la circonférence $|w|=\bar{r}$, qui correspond au segment DA, $m+1$ fois dans le sens direct. La fonction $w=f(z)$ donne par suite la représentation conforme du domaine δ_ν sur une surface de Riemann à $m+1$ feuillets étendue sur le cercle $|w|\leq\bar{r}$, dont tous les feuillets couvrent entièrement ce cercle, sauf l'un deux, lequel est découpé suivant la circonférence $|w-\omega_n|=r$ et le segment ab. Mais une telle surface ne saurait être connexe à moins qu'elle n'admette à son intérieur un point de ramification, et à ce point correspond un zéro de $f'(z)$ intérieur à δ_ν.

Nous avons donc trouvé que l'existence d'une racine de l'équation $f(z)=\omega_n$ dans δ_ν entraîne nécessairement celle d'un zéro de $f'(z)$ dans ce même domaine. Puisque $f'(z)$

n'a qu'un nombre fini de zéros, il s'ensuit que, à partir d'une certaine valeur ν, la fonction $f(z)$ est différente de ω_n dans tout domaine δ_ν, et, comme ces domaines remplissent toute l'aire comprise entre γ et $\bar{\gamma}$, l'équation $f(z) = \omega_n$ n'admet donc qu'un nombre fini de racines dans cette aire, et par suite aussi dans le domaine T_n.

La fonction $f(z)$ tendant sur les contours de T_n vers l'infini sans tendre uniformément vers cette valeur à l'intérieur dudit domaine, elle y prendra, d'après le théorème IV, toute valeur finie donnée, sauf une valeur au plus, en une infinité de points. Comme ω_n est une valeur exceptionnelle, la fonction $f(z)$ y prend donc toute autre valeur finie en une infinité de points, c. q. f. d.

14. Du théorème III on conclut immédiatement qu'aucun des domaines $\Delta_\infty(\bar{r})$ ne saurait être enfermé dans un angle inférieur à $\frac{\pi}{p}$. Il s'ensuit qu'il y a, sur tout rayon extérieur aux angles A, quelque grand que soit $\bar{r}$, des points arbitrairement éloignés qui font partie d'un domaine $\Delta_\infty(\bar{r})$ [1].

D'une manière plus précise nous pouvons démontrer que $f(z)$ tend uniformément vers l'infini dans tout angle B extérieur aux angles A. Pour cela il nous suffit de faire voir que, quelque grand qu'on ait pris le nombre $\bar{r}$, la portion de B qui est extérieure à une circonférence suffisamment grande fait partie du domaine $\Delta_\infty(r)$ compris entre les mêmes angles A que B. S'il n'en était pas ainsi on pourrait trouver un nombre $\bar{r}$ tel qu'il existe, sur l'un des côtés de B, une infinité de points arbitrairement éloignés qui sont tous

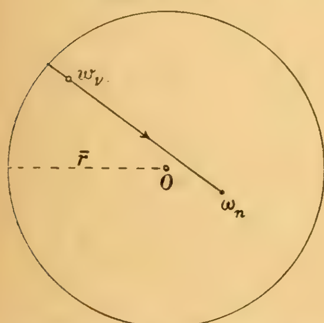
[1]) Sur un rayon arbitrairement voisin d'un côté de l'angle A_n la fonction $f(z)$ tend vers ω_n, si ce rayon est intérieur à A_n, tandis que, d'après ce que nous avons dit, cela n'a pas lieu s'il est extérieur à cet angle. De ce fait on peut déjà conclure, d'après un théorème établi par M. Ernst Lindelöf (*Mémoire sur certaines inégalités dans la théorie des fonctions monogènes et sur quelques propriétés nouvelles de ces fonctions dans le voisinage d'un point singulier essentiel*, Acta Soc. Scient. Fennicae, Tome XXXV, 1908, p. 32—33), que l'équation $f(z) = C$, pour toute valeur finie de C, excepté peut-être une seule valeur (laquelle est, dans le cas actuel, la valeur ω_n), admet une infinité de racines dont les arguments tendent vers celui du côté envisagé de A_n, en même temps que leurs modules augmentent indéfiniment.

extérieurs au domaine $\varDelta_{\infty}(\bar{r})$ en question. Prenons-en une suite infinie, $z_1, z_2, \ldots, z_\nu, \ldots$, admettant le point à l'infini comme point-limite. En ces points on aurait donc, par antithèse, $|w_\nu| = |f(z_\nu)| < \bar{r}$.

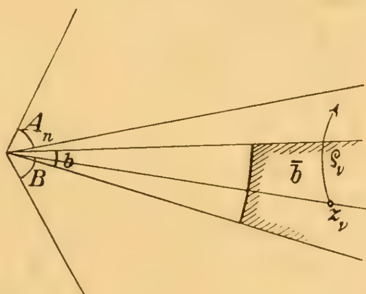
Supposons que le côté de l'angle B où se trouvent les points z_ν soit intérieur au domaine T_n (*voir* nº 11), et entourons ce côté d'un angle b intérieur au même domaine, mais extérieur à l'angle A_n. Soit $\bar{b}$ la portion de b qui est extérieure à la circonférence $|z| = R$.

Si nous prolongeons l'élément $\varphi_{z_\nu}(w)$ de la fonction inverse $z = \varphi(w)$ correspondant à un point z_ν compris dans $\bar{b}$ vers ω_n suivant le rayon $\arg(w - \omega_n) = \arg(w_\nu - \omega_n)$, le point z, partant de z_ν, décrira un chemin ϱ_ν qui ou bien

Plan des w.



Plan des z.



aboutira à une racine de l'équation $f(z) = \omega_n$, ou bien s'étendra à l'infini. L'argument de $(f(z) - \omega_n)$ restant constant sur ϱ_ν, l'accroissement $\varDelta\,|f(z) - \omega_n|$ que subit le module de $(f(z) - \omega_n)$ sur un segment σ de ce chemin sera égal à l'intégrale $\int_\sigma |f'(z)|\, d\sigma$. Mais, d'après le numéro précédent, l'équation $f(z) = \omega_n$ est dépourvue de racines dans $\bar{b}$ pour une valeur suffisamment grande de R. Donc la longueur du segment de ϱ_ν qui fait partie du domaine $\bar{b}$ sera supérieure à telle quantité qu'on voudra si l'on a pris ν suffisamment grand. Comme d'autre part la dérivée $f'(z)$ tend uniformément vers l'infini dans le domaine $\bar{b}$, on en conclut que l'accroissement $\varDelta\,|f(z) - \omega_n|$ correspondant au segment en question dépassera toute limite donnée pour une valeur suffisamment grande de ν. Mais en réalité

cet accroissement est $\leq |w_\nu - \omega_n|$ et, par suite, inférieur à $\bar{r} + |\omega_n|$, puisque, d'après l'antithèse, on a $|w_\nu| < \bar{r}$. Nous nous heurtons donc à une contradiction, et notre assertion est ainsi démontrée.

15 Réunissons ici les propriétés de la fonction $f(z) = \int_{z_0}^{z} e^{P(z)} Q(z)\, dz$ établies plus haut.

Désignons par $A_1, \ldots, A_p$ *les* p *angles de grandeur* $\frac{\pi}{p}$ *où la dérivée* $f'(z) = e^{P(z)} Q(z)$ *tend vers zéro, par* $B_1, \ldots, B_p$ *les* p *angles de la même grandeur où* $f'(z)$ *tend vers l'infini. Dans tout angle compris dans un angle* B *la fonction* $f(z)$ *tend uniformément vers l'infini, dans tout angle faisant partie d'un angle* A_n *vers une valeur finie déterminée* ω_n *correspondant à cet angle* A_n. *Les valeurs* $\omega_1, \ldots, \omega_p$ *et* ∞ *sont les seules valeurs asymptotiques de* $f(z)$.

Les bissectrices des angles B *divisent le plan des* z *en* p *domaines infinis* $\bar{T}_1, \ldots, \bar{T}_p$ *renfermant respectivement les angles* $A_1, \ldots, A_p$. *Dans chaque domaine* $\bar{T}_n$ *la fonction* $f(z)$ *prend toute valeur finie donnée en une infinité de points dont les arguments tendent vers ceux des côtés de l'angle* A_n, *sauf la seule valeur* ω_n, *qu'elle n'y prend qu'en un nombre fini de points.*

Les seuls points critiques de la fonction inverse de $f(z)$ *sont les points critiques algébriques, en nombre fini, correspondant aux zéros de* $f'(z)$, *et les* $p+1$ *points transcendants* $\omega_1, \ldots, \omega_p$ *et* ∞, *qui sont tous des points logarithmiques ordinaires pour cette fonction.*

16. Terminons par une remarque concernant le nombre maximum des valeurs asymptotiques des fonctions entières d'ordre fini. Comme on sait, M. Denjoy a énoncé[1]), malheureusement sans démonstration, cette proposition intéressante, qu'une fonction entière d'ordre ϱ ne saurait présenter plus de h valeurs asymptotiques (finies), l'entier h étant déterminé par les inégalités $2\varrho - 1 < h \leq 2\varrho$. Mais,

[1]) Arnaud Denjoy: *Sur les fonctions entières de genre fini* (Comptes Rendus, Tome 145, 1907, p. 106).

tant que nous sachions, on n'a pas indiqué jusqu'ici de fonction correspondant à ce nombre maximum. A l'aide de la fonction très simple

$$(5) \qquad f(z) = \int_0^z e^{-z^2}\, dz$$

nous arriverons aisément à une telle fonction. En effet, la fonction (5) tend dans l'angle $-\frac{\pi}{4} \leqq \varphi \leqq \frac{\pi}{4}$ $(z = re^{i\varphi})$ vers la limite $+\frac{\sqrt{\pi}}{2}$ et dans l'angle $\frac{3\pi}{4} \leqq \varphi \leqq \frac{5\pi}{4}$ vers la limite $-\frac{\sqrt{\pi}}{2}$ lorsque z s'éloigne vers l'infini. Il s'ensuit que la fonction d'ordre *deux*

$$F(z) = f(z) + k \cdot f(iz) = \int_0^z e^{-z^2} dz + ik \int_0^z e^{z^2} dz$$

$$(k \neq 0,\ 1,\ -1)$$

admet les *quatre valeurs asymptotiques finies*

$$\frac{\sqrt{\pi}}{2}(1-k),\ -\frac{\sqrt{\pi}}{2}(1+k),\ -\frac{\sqrt{\pi}}{2}(1-k),\ \frac{\sqrt{\pi}}{2}(1+k),$$

vers lesquelles elle tend respectivement sur les rayons

$$\varphi = \frac{(2n+1)\pi}{4}\ (n = 0,\ 1,\ 2,\ 3).$$

Il est intéressant d'observer que cette fonction $F(z)$ tend vers l'infini sur tout autre rayon issu de l'origine [1]).

[1]) *Cf.* notre Note: *Sur une fonction entière dont la fonction inverse présente un ensemble de singularités transcendantes de la puissance du continu* (Öfversigt af Finska Vet.-Soc. Förh., Bd. LVIII, 1915—1916, Afd. A).

Öfversigt af Finska Vetenskapssocietetens Förhandlingar.
Bd. LXI. 1918—1919. Afd. A. N:o 2.

Redogörelse för fortgången af de astrofotografiska arbetena å observatoriet i Helsingfors under tiden juni 1917 till maj 1918.

Af

ANDERS DONNER.

(Meddeladt den 21 oktober 1918).

Fotografiska upptagningar

hafva detta år lika litet som under de föregående krigsåren förekommit. Astrografen har nämligen äfven nu icke varit uppställd.

Personalen har utgjorts af mig såsom ledare, docenten doktor R. Furuhjelm såsom underchef, docenten doktor F. Iversen, filosofiemagistern J. E. Renholm och under månaderna juni 1917 till januari 1918 herr A. Franck såsom assistenter. En del med dessas besläktade arbeten hafva varit anförtrodda filosofiemagistern fröken G. Helin. Fröknarna N. Helin, H. Stenbäck och A. Sohlström samt fru R. Holm hafva likasom tidigare deltagit i förekommande mätningar och beräkningar.

Under större delen af det röda väldets tid, då verksamheten vid universitetet var inställd, var äfven byrån för de astrofotografiska arbetena upplöst, men arbetade den manliga personalen för det mesta hemma för att tiden icke skulle

gå till spillo och hade äfven för de i arbetena deltagande damerna tillfälle beretts till hemarbete äfvensom, om ock i inskränktare grad, till mätningar. Tidsförlusten blef genom dessa anordningar icke så synnerligen kännbar.

Mätningar.

Mätningarna hafva fortfarande skett skildt för hvardera koordinaten i två motsatta lägen af plåten. Under arbetsåret hafva fröknarna N. Helin och H. Stenbäck samt fru R. Holm mätt 17 stycken plåtar innehållande sammanlagdt 10,799 stjärnor eller sålunda i medeltal 635 stjärnor för hvarje plåt. Antalet mätta positioner är, beroende på störingarna genom den röda tiden, åtskilligt mindre än vanligt, särskildt i betraktande af att plåtarna tillhöra mycket stjärnrika trakter.

Genom resultatet af årets arbete stiger totala antalet af hittills mätta plåtar till 971 af de till vår zon hörande 1008 och antalet mätta stjärnpositioner till 264,379. Plåtarna uppvisa således i medeltal 272 stjärnor enhvar.

De plåtar, hvilka under året utmätts, har jag före begynnandet af mätningarna genommönstrat, därvid på den öfver plåten upprättade kartan utmärkande genom fortlöpande numror de stjärnor som borde mätas och på ett samtidigt ordnadt räkneschema angifvande dessas af mig därvid uppskattade storleksklasser. Kartan i fråga har därunder ständigt jämförts med kartorna för de plåtar som täcka denna delvis, på det att stjärnor som mätts på en plåt äfven om möjligt blefve mätta på den under behandling varande och ingen stjärna som borde mätas blefve förbisedd. Samtidigt har den till serien af kartfotografier hörande plåten öfver samma himmelsregion som den hvilken katalogplåten afbildar varit insatt i en hjälpapparat bestående af en ram försedd med skalor i båda riktningarna numrerade enligt zonerna på plåten och försedd med en lupp som kan förflyttas i hvar-

dera riktningen och sålunda bringas öfver den ruta på plåten man vill examinera. Härigenom kan i tvifvelaktiga fall afgöras huruvida ett objekt verkligen är en stjärna. För plåtar inom randzonerna vid 39 och 46 grader har ock hvar zon af kartplåten genommönstrats samtidigt som motsvarande zon af katalogplåten för att säkerställa att alla stjärnor som böra mätas blifva beaktade.

Nya kartor öfver katalogplåtar hafva af fröken Stenbäck och fru Holm upprättats till ett antal af 16.

Angående sina undersökningar med stereokomparatorn har numera professor R. Furuhjelm meddelat följande:

Arbeten med stereokomparatorn.

Under arbetsåret hafva de detaljerade egenrörelseundersökningarna påbegynts för den del af Helsingfors fotografiska zon, som faller emellan 6 och 9 timmar i rektascension. Det förberedande arbetet, som gäller uppsökandet af de stjärnor, hvilkas egenrörelser skola bestämmas, har utförts för 68 af zonafsnittets 126 plåtar.

Beräkningar.

I möjligast nära anslutning till enhvar plåts utmätning hafva beräkningarna af de direkt härur härflytande värdena på stjärnornas rätvinkliga koordinater fortskridit, i regeln utförda af den af damerna som verkställt mätningen. Härvid beräknas koordinaterna sådana de framgå ur mätningarna i plåtens hvartdera läge taget för sig. Där en skillnad mellan de två resultaten visar sig hvilken öfvergår hvad som kan

väntas på grund af mätningarnas sannolika fel samt af personliga ekvationer, har kontrollering genom nymätning omedelbart skett, äfven denna utförd af den som verkställt den tidigare mätningen. I sammanhang med dessa kalkyler hafva en del andra tal beräknats, hvilka användas för den kontrollerande beräkningen af koordinaterna ur mätningarna i båda plåtlägena tagna tillsammans. Räkningarna hafva gjorts af fröknarna N. Helin och H. Stenbäck samt fru R. Holm och omfattat 18 plåtar. Dessa ligga alla på 45 och 46 graders deklination samt mellan $18^h\ 55^m$ och $20^h\ 20^m$ i rektascension.

I öfrigt hafva kalkylerna för det mesta gällt arbetena för Band I och Band V af vår publikationsserie, för flertalet af de vid byrån anställda det senare af dessa.

Sedan redan under senaste år för Band I slutförts beräkningen af de definitift förbättrade rätvinkliga koordinaterna X och Y äfvensom af de korrektioner $\triangle x$ och $\triangle y$, som böra tillfogas till de på grund af de med tillhjälp af å plåten förekommande komparationsstjärnor härledda konstanterna beräknade koordinaterna $x_{\text{korr.}}$ och $y_{\text{korr.}}$, har doktor Iversen jämfört X och Y med $x_{\text{korr.}} + \triangle x$ och $y_{\text{korr.}} + \triangle y$ för de plåtar af Band I för hvilka denna kontroll ännu icke var utförd samt rättat därvid upptäckta fel. Därefter har magistern fröken G. Helin ur X och Y beräknat värdena på $\alpha - \alpha_0$ och $\delta - \delta_0$ för samma plåtar, inalles 17 stycken. Genom anbringande af dessa till koordinaterna α_0 och δ_0 för plåtens midtpunkt hafva därpå assistenterna magister Renholm och herr Franck för dessa och ännu 2 plåtar härledt och i manuskriptet infört de slutliga värdena på de sfäriska koordinaterna α och δ för samtliga å plåten förekommande stjärnor. När härtill kommer att jag för de tre sista plåtarna af bandet, dem vid $2^h\ 55^m$ i rektascension, infört de ändringar i såväl de rätvinkliga koordinaterna X och Y som i α och δ, som föranletts af tilläggandet af de Mönnigmeyer'ska korrektionerna till komparationsstjärnornas orter och däraf härrörande förbättringar till plåtkonstanterna både vid dessas direkta härledande och genom anslutningar, efter det att fröknarna Sohlström och

S t e n b ä c k beräknat motsvarande tillägg till X och Y samt $x_{korr.}$ och $y_{korr.}$, så är härmed hela Band I färdigställdt i manuskript i allt hvad som rör stjärnornas såväl rätvinkliga som sfäriska koordinater.

Innan herrar F r a n c k och R e n h o l m infört i manuskriptet värdena på α och δ, hafva beräkningarna af $\alpha - \alpha_0$ och $\delta - \delta_0$ af dem kontrollerats genom att ur dessa tillbakaräkna X och Y.

I manuskriptet hafva slutligen införts de definitivt förbättrade värdena på stjärnornas storleksklasser af mig för 32 och af professor F u r u h j e l m för 14 plåtar, hvarvid först kontrollerats storleksklassernas reduktion för stjärnans läge på plåten. Sedan hafva vi i sedelkatalogen infört positionerna och storleksklasserna för stjärnorna, därvid uppmärksammande och för revision antecknande förekommande fel och sådana afvikelser som icke fallit inom de vanliga gränserna för mätningarna eller vid storleksklasserna uppskattningarnas noggrannhet. Dessa sammanställningar i sedelkatalogen gifva en slutlig och mycket värdefull kontroll öfver både mätningar och beräkningar. På samma gång förberedes härigenom den framtiden förbehållna slutliga stjärnkatalogens åstadkommande.

Då införandet i sedelkatalogen under året utförts af mig för 31 och af professor F u r u h j e l m för 14 plåtar, återstår dess verkställande hvad Band I beträffar endast för inalles 14 plåtar. Med dessas absolverande föreligger hela Band I färdigt för tryckning, sedan ännu de nödiga förut nämnda revisionerna genomförts. Hvad positionerna angår hafva de verkställts af professor F u r u h j e l m för 36 plåtar och af mig för något tiotal. Revisionen af storleksklasserna har likaså af mig påbegynts.

De öfriga räknearbetena hafva nästan undantagslöst gällt Band V.

Härledningen af de direkt ur mätningarna — endast under anbringande af mikroskopets »run» samt afståndet mellan trådparen äfvensom mikroskopets fortskridande fel — framgående rätvinkliga koordinaterna sker dubbelt, så att

tillbörlig kontroll vinnes. Tidigare har det värde som framgår ur mätningarna i båda de motsatta plåtlägena tagna tillsammans beräknats af en af assistenterna, som infört det i manuskriptet och därpå omedelbart kontrollerat detsamma genom medeltalet af de förut af damerna beräknade värdena ur hvartdera plåtläget taget för sig. Senaste år begynte vi emellertid förfara så att medeltalet först beräknades och på ett skildt blad antecknades af en af damerna, hvarpå den af assistenterna, som för i fråga varande plåt öfvertagit »sammanslagningen till *en* ort» i manuskriptet införde det af honom beräknade värdet ur båda lägena på en gång och jämförde detta med nyssnämnda särskildt antecknade medeltal. Detta förfarande har såsom erbjudande ökad kontroll äfven under detta år städse kommit till användning. Sådan beräkning af x och y såsom medeltal ur hvad hvartdera plåtläget för sig gett har af fröken N. Helin under året utförts för 70 plåtar, af de öfriga damerna såsom mera tillfälligt arbete, så att hela antalet under året sålunda förberedda plåtar stiger till 99. För dem hafva de fortskridande felens hos mikroskopet inverkningar antecknats af herrar Iversen, Franck och Renholm, af den sistnämnde äfven för ett antal plåtar för hvilka beräkningen af medeltalet vid x och y ännu icke medhunnits. Största delen af dessa plåtar tillhöra Band V eller det område hvars plåtar tagas i anspråk för de anslutningar som äro nödvändiga för förbättrandet af konstanterna för plåtarna inom Band V.

Sammanslagningen till *en* ort och de därvid beräknade värdenas på de rätvinkliga koordinaterna införande i manuskriptet har sedermera utförts af herrar Iversen, Franck och Renholm för tillsammans 92 plåtar, hvarigenom detta arbete föreligger färdigt för alla plåtar inom Band V äfvensom för ett område sträckande sig en half timme i rektascension framåt utöfver dess gräns.

Delningsfelen för originalnätet hafva för dessa samma plåtar införts i manuskriptet för det mesta af fröken Stenbäck, till en del af fröken Sohlström.

Beräkningen af konstanterna för plåten på grund af de å densamma belägna komparationsstjärnorna har under året

verkställts för 95 plåtar af Band V och af den härtill sig närmast anslutande delen af Band VI. Detta vidlyftiga arbete har till drygt hälften verkställts af doktor Iversen, till en tredjedel af herr Franck och för återstoden af magister Renholm. Den del häraf, som utgöres af härledningen af de rätvinkliga koordinaterna för komparationsstjärnorna ur dessas orter samt plåtens antagna nollpunkt äfvensom af uppställandet af vilkorsekvationerna för konstantberäkningen genom nämnda värdens jämförande med de på plåten mätta koordinaterna för samma stjärnor, har för kontrollens skull utförts ännu en gång, för två tredjedelar af antalet plåtar af fru Holm, till en tredjedel af fröken G. Helin. Återstoden af beräkningen är gjord så att den kontrollerar sig själf och dess riktighet bestyrkes ännu genom härledningen af de återstående felen. Komparationsstjärnornas orter voro härvid de ur Bonnzonerna uttagna, förbättrade för de Mönnigmeyer'ska korrektionerna, samt de från Lundzonerna som uppreducerats på detta system.

De för reduktionen af plåtarna inom Band V behöfliga äfvensom de för dessas anslutning till närliggande plåtar nödiga konstantberäkningarna hafva härmed blifvit afslutade.

Allteftersom konstanterna för dessa plåtar förelegat, har jag å räkneschemata infört de därpå grundade formlerna till finnande af stjärnornas förbättrade rätvinkliga koordinater, hvilka af oss betecknas såsom $x_{\text{korr.}}$ och $y_{\text{korr.}}$; och hafva dessa sedermera af damerna uträknats. Nämnda formelsammanställningar hafva af mig gjorts för inalles 118 plåtar och hafva räkningarna i fråga utförts för sammanlagdt 114 plåtar, till två tredjedelar af fröken Sohlström, till en tredjedel af fröken Stenbäck.

Härpå har kunnat skridas till plåtarnas anslutning till hvarandra i och för förbättrandet af plåtkonstanternas värden. Arbetet har varit fördeladt på följande sätt. Främst har doktor Iversen under jämförande af kartorna öfver de hvarandra delvis täckande plåtarna sökt ut de stjärnor, hvilkas positioner å två plåtar borde jämföras sinsemellan, i syfte att genom deras sammanslående bilda två fiktiva

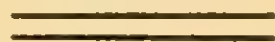
stjärnor, möjligast fördelaktigt belägna för att bilda underlag för konstantförbättringarna. Därpå har någon af damerna, fröken N. Helin för 48 plåtar, fröken G. Helin för 27 och fröken Sohlström för 20 plåtar, i det upprättade schemat infört dels de ur manuskriptet tagna och för delningsfelen korrigerade värdena på x och y för dessa stjärnor dels deras $x_{\text{korr.}}$ och $y_{\text{korr.}}$ samt tagit deras medeltal, som då utgöra koordinaterna för de fiktiva stjärnorna. Doktor Iversen har sedan i schemat antecknat formlerna för förbättrande af x och y och därmed korrigerat deras medeltal, hvilket då bör öfverensstämma med medeltalet af $x_{\text{korr.}}$ och $y_{\text{korr.}}$, hvarigenom dessa kontrolleras. Sedermera har magistern fröken G. Helin med tillhjälp af de härför konstruerade tabellerna uppreducerat de enskilda stjärnornas rätvinkliga koordinater från den ena plåten till de värden de skulle erhålla om plåtens centrum skulle flyttas till platsen för den andra plåtens midt, tagit differenserna mellan dessa värden och värdena för motsvarande stjärnors koordinater på den andra plåten samt bildat medeltalen häraf. Motsvarande operationer hafva sedermera utförts af doktor Iversen för stjärnornas koordinaters medeltal d. v. s. för de fingerade stjärnorna, hvarigenom kontroll vinnes. Denna är dock icke fullständig, beroende på verkan af termerna af andra ordningen. Såsom differens mellan de två plåtarnas resultat, svarande mot de fiktiva stjärnorna, har därför användts det af fröken Helin beräknade medeltalet. Sådana räkningar hafva af henne detta år utförts för 90 plåtar.

Dessa differenser bero, utom af mätningsfel, endast af oriktigheter i de två plåtarnas konstanter. För att härleda förbättringar till dessa fördelas differenserna jämnt mellan de två plåtarna och sålunda gifver hvarje fiktiv stjärna för hvardera plåten två vilkorsekvationer till bestämmande af förbättringarna till plåtkonstanterna, en härrörande ur x, en ur y. Då ur anslutningarna af två plåtar till hvarandra bildas 2 fiktiva stjärnor samt hvarje plåt anslutes till 4 andra, fås således inalles 16 vilkorsekvationer. Dessa har jag uppställt, under året för 56 till Band V hörande plåtar,

därvid städse tillseende att nödig kontroll ernåtts. Vilkorsekvationerna hafva upplösts af doktor I v e r s e n, som ock beräknat deras återstående fel.

De sistnämnda hafva därpå införts i ett lämpligt grafiskt schema, så att det varit lätt att kombinera de återstående fel som svara mot samma plåtkombination. Hälften af deras differens har sedan användts vid uppställandet af de vilkorsekvationer, som gifva den andra approximationen vid härledningen af konstantförbättringarna. På motsvarande sätt erhålles sedermera den tredje och om nödigt en fjärde approximation. Äfven vid dessa har arbetet varit så fördeladt att jag uppställt ekvationerna och doktor I v e r s e n löst dem samt bildat de kvarblifvande felen. Detta har af oss utförts för 45 plåtar i andra och för 22 plåtar i tredje tillnärmelsen.

För att redogörelsen för årets räknearbeten skall vara fullständig, återstår ännu att nämna att fröken G. H e l i n för 116 plåtar tillhörande det femte bandet utfört storleksklassernas reduktion till centrum.



Öfversigt af Finska Vetenskaps-Societetens Förhandlingar.
Bd. LXI. 1918—1919. Afd. A. N:o 3.

Försök öfver hydrocellulosans näringsvärde.

Af

Robert Tigerstedt och Carl Tigerstedt.

(Från Helsingfors universitets fysiologiska institut).

De undersökningar, för hvilkas resultat en redogörelse skall lemnas i denna afhandling, hafva företagits på anmodan af Senatens lifsmedelsexpedition och afsett att fastställa, i hvilken grad olika slag af hydrocellulosa tillgodogöras i människans tarmkanal [1]).

Med hänsyn till frågans eminent praktiska betydelse ansågo vi det vara nödvändigt att icke inskränka försöken till en eller ett par personer, utan utsträckte dem till ett jämförelsevis stort antal individer. Härigenom blefvo resultaten oberoende af tillfälliga inflytelser, och de af dem dragna slutsatserna synas oss derför kunna göra anspråk på allmängiltighet.

Försöken omfatta fem serier med hydrocellulosa af olika slag äfvensom en normalserie, i hvilken födan var af alldeles samma beskaffenhet som i de öfriga försöksserierna, blott

---

[1]) Uppdraget lemnades egentligen åt den yngre af oss, och undersökningen skulle således hafva blifvit en länk i dennes arbeten rörande näringsvärdet hos särskilda nödfödoämnen. Då han emellertid just då försöken skulle vidtaga af Senaten sändes i offentligt uppdrag till utlandet, utfördes de första serierna under ledning af den äldre af oss.

med den skillnaden, att ingen hydrocellulosa ingick i densamma.

Dessa försöksserier voro således följande:

A. Hydrocellulosa från Kajana;
B. Hydrocellulosa från Tainiokoski;
C. Hydrocellulosa från Borgå;
D. Hydrocellulosa från Tainiokoski;
E. Hydrocellulosa från Kymmene;
Normalserie.

Då den af vederbörande fabrikant till försöksserien B levererade hydrocellulosan vid närmare pröfning visade sig vara starkt bemängd med mjöl, enär den qvarn, i hvilken preparatet malats, icke derförinnan blifvit rengjord, hafva vi i följande framställning uteslutit denna serie.

Undersökningens allmänna plan bestod deri, att till en grundkost, hvilken af alla i serien deltagande borde förtäras i någorlunda lika stor mängd [1]), ett bröd skulle ätas, som till inemot hälften af sin torrsubstans bestod af hydrocellulosa.

Någon bestämd mängd, i hvilken detta bröd borde förtäras, ville vi icke fastställa, utan öfverlemnade åt försökspersonerna att härvid låta deras egen matlust vara bestämmande. Dock uppmanade vi dem, att icke på något vis lägga band på densamma, enär det syntes oss vara af vigt, att hydrocellulosan förtärdes i så stora qvantiteter, att de utgjorde ett afsevärdt tillskott till den öfriga födan.

Härvid visade sig hos de olika försökspersonerna rätt betydande olikheter, och mängden af förtärd hydrocellulosa varierade derför inom rätt vida gränser.

Hydrocellulosabrödet förtärdes torrt i form af spisbröd.

Grundkosten bestod af ägg, mjölk, smör, ost, socker och anjovis eller medwurst — alltså af lätt resorberbara födoämnen, som icke innehöllo någon cellulosa. Anjovisen, skinn- och benfri, begagnades i hydrocellulosaserierna A och C; då

---

[1]) Såsom af den närmare redogörelsen för de olika försöksserierna framgår, kunde icke en fullständig likhet härutinnan ernås. Variationerna voro dock i stort sedt rätt obetydliga och kunde icke utöfva någon väsentligare inverkan på resultaten.

det under de senare serierna icke var möjligt att erhålla ätbar anjovis, ersattes denna i serierna D och E äfvensom i normalförsöket med dansk medwurst.

Såsom dryck begagnades vid försöken kaffe och te; i hydrocellulosaserierna D och E dessutom också buljong, tillredd af köttextrakt och buljongtärningar.

Efter det hydrocellulosaserierna afslutats, utfördes normalförsöket. I detta var grundkosten af samma beskaffenhet och mängd som i de tidigare försöksserierna, men det till densamma förtärda brödet var nu bakadt af rent rågmjöl i form af spisbröd. Härvid fastställdes, att den mängd deraf, som hvarje försöksperson fick förtära, skulle ungefär motsvara medeltalet af den mängd *rågmjöl*, som vederbörande försöksperson i medeltal förtärt i det under hydrocellulosaserierna använda brödet. Sålunda kom hydrocellulosan att i viss grad superponeras på normalkosten.

Medelsammansättningen af grundkosten i de olika försöksserierna framgår ur följande tabell 1.

Tab. 1. *Grundkosten för tre dagar i medeltal.*

	Ägg utan skal; g	Smör; g	Mjölk; ccm	Ost; g	Medwurst; g	Anjovis; g	Socker; g
Normalserie	445	243	2900	270	279	—	104
Hydrocellulosa A	441	256	2700	240	—	302	108
„ C	459	228	3000	270	—	119	95
„ D	438	252	2850	183	176	—	116
„ E	455	248	2850	240	268	—	28

Den i de olika serierna förtärda mängden rågmjöl var, beräknad såsom torrsubstans, i medeltal:

Normalserie	481	g
Hydrocellulosa A	396	»
» C	531	»
» D	592	»
» E	422	»

Härvid är dock att märka, att icke alla försökspersoner deltogo i samtliga försöksserier, hvadan en sammanställning af medeltalen icke i och för sig är tillfyllestgörande. Vi återkomma härtill vid den detaljerade redogörelsen för våra försök.

Ehuru det icke var oss möjligt att på samma personer genomföra samtliga sex försöksserier, voro dock i ett flertal af dem försökspersonerna desamma.

Följande tabell innehåller en öfversikt af försökspersonerna och de försök, i hvilka hvar och en af dem deltog.

Tab. 2. *Försökspersonerna.*

Försöks-person	Ålder; år	Kropps-vigt; kg	Normal-serien	Cellulosaserien					Summa
				A	B	C	D	E	
1. R. T.	65	89	1	1	1	1	—	—	4
2. D. R.	47	53	1	—	1	1	1	—	4
3. Y. R.	24	62	1	1	1	1	—	—	4
4. I. K.	38	55	1	1	1	—	1	—	4
5. R. L.	22	55	1	—	1	1	—	—	3
6. E. K.	26	49	—	—	1	1	—	—	2
7. L. W.	25	69	1	1	1	1	—	—	4
8. J. L.	37	44	1	1	1	1	—	1	5
9. O. S.	46	67	1	—	—	1	1	—	3
10. H. O.	28	65	1	—	—	1	—	1	3
11. Z. E.	23	49	—	1	—	—	—	—	1
12. B. O.	18	63	—	1	—	—	—	—	1
13. E. S.	32	48	1	1	—	—	—	—	2
14. S. L.	29	55	—	—	—	—	1	—	1
15. R. L.	23	61	—	—	—	—	1	—	1
16. A. G.	23	58	—	—	—	—	—	1	1
17. C. T.	36	62	1	—	—	—	—	—	1
Summa			11	8	8	9	5	3	44

Hvarje försöksserie räckte tre dygn och vidtog kl. 9 f. m. Derförinnan hade försökspersonerna icke förtärt någon föda sedan kl. 5 e. m. föregående dag. Den sista måltiden

egde rum på tredje försöksdagen kl. 5 e. m. och derefter iakttogs fasta till kl. 9 f. m. påföljande dag.

Under hvarje försöksdag intogos tre måltider, frukost kl. 9—10 f. m., lunch kl. 2 e. m. och middag kl. 6—7 e. m. Hvarje dag förtärdes ungefär tredjedelen af de i grundkosten ingående födoämnena; af brödet intogs i allmänhet under den första försöksdagen mera än under de två följande dagarna. Likasom det stod försökspersonerna fritt att deraf äta huru mycket de ville, var dem också öfverlåtet att under de olika dagarna variera brödmängden.

Urinen samlades i dygnsportioner från 9 f. m. till 9 f. m. Afgränsningen af faeces skedde medelst torkade blåbär såsom inledning till den första och afslutning af den sista måltiden.

Af födoämnena togos rätt stora prof till analys, för att sålunda få möjligast riktiga genomsnittsvärden. Sålunda användes i hvarje serie härtill 3 ägg, 3 × 150 ccm mjölk, 200 g smör, 200—300 g ost, 300 g medwurst, 300 g bröd taget från olika paket och kakor, 1 låda anjovis. Profven, förutom smöret, intorkades på vattenbad, innan de undergingo vidare behandling.

Tarmuttömningarna torkades i sin helhet med tillsats af utspädd svafvelsyra på vattenbad.

De sålunda torkade profven malades fint och analyserades sedan på qväfve (Kjeldahl), fett (eterextraktion under 20 timmar; derförinnan sönderdelades i faeces förefintliga tvålar med utspädd saltsyra), växttråd (König), torrsubstans och aska. Lösliga kolhydrat beräknades såsom differens.

Ur den vid analysen funna qväfvemängden beräknades ägghvitan genom multiplikation med 6.25. Dock användes vid beräkningen af mjölkens och ostens ägghvita koefficienten 6.37; hos anjovis och medwurst beräknades ägghvitan såsom differensen mellan torrsubstansen och summan af fett och aska.

Kalorimängden i födan och tarmuttömningarna beräknades enligt de Rubnerska standardtalen, 1 g ägghvita = 4.1, 1 g fett = 9.3 och 1 g kolhydrat (äfven växttråd) = 4.1 Kalorier.

De vid försöken nödvändiga analyserna hafva utförts af fröknarna E. Kuhlefelt, J. Lappalainen, H. Olin och K. Pulkkinen, och är det oss en kär plikt att också här få uttrycka vår tacksamhet för den stora omsorg och den osparda möda, hvarmed de utfört sitt arbete.

I. **Normalserie den 25.—27. september 1918.**

Uppgifter öfver mängden af de i denna serie under hela försökstiden förtärda födoämnena äro sammanställda i tabell 3.

Tab. 3. *Normalserien; förtärda födoämnen.*

Försöks-person	Ägg utan skal; g	Smör; g	Mjölk; ccm	Ost; g	Medwurst; g	Socker; g	Torkade blå-bär; g	Bröd
1	463	198	2900	270	295	20	60	364
2	444	270	2900	270	295	150	60	713
3	463	245	2900	270	295	150	60	607
4	433	199	2900	270	120	108	60	702
5	436	213	2900	270	295	90	60	712
7	448	270	2900	270	295	20	60	500
8	442	270	2900	270	295	—	60	350
9	418	270	2900	270	295	150	60	705
10	459	270	2900	270	295	150	60	412
13	456	270	2900	270	295	150	60	355
17	440	195	2900	270	295	150	60	464
Medeltal	445	243	2900	270	279	104	60	535

I enlighet med de i bihang II meddelade födoämnesanalyserna hade grundkosten följande sammansättning (tabell 4).

De största individuella afvikelserna från medeltalet af grundkosten förefinnas i afseende å kolhydraten, hvilket beror derpå, att en af försökspersonerna icke förtärde något socker alls och två endast 20 g under hela försökstiden

Tab. 4. *Normalserien; grundkostens sammansättning.*

Försöks-person	Torr-substans; g	N; g	Ägghvita; g	Fett; g	Växttråd; g	Öfriga kol-hydrat; g	Aska; g	Kalorier
1	1094	49.5	312	469	7	217	89	6555
2	1280	49.1	310	526	7	346	91	7610
3	1264	49.5	312	508	7	347	91	7452
4	1040	40.2	252	416	7	303	62	6172
5	1169	48.9	308	478	7	286	89	6909
7	1152	49.2	311	527	7	217	91	7086
8	1130	49.0	309	526	7	197	91	6992
9	1273	48.5	306	523	7	346	91	7564
10	1285	49.4	312	528	7	347	91	7638
13	1284	49.3	311	528	7	347	91	7633
17	1214	49.0	309	463	7	346	89	7024
Medeltal	1199	48.3	305	499	7	299	88	7149

Medelafvikelsen utgör här $\pm$ 52 g = 17.4 procent af medeltalet.

För qväfvet, fettet och askan utgör medelafvikelsen endast $\pm$ 1.5, resp. $\pm$ 33 och 5 g, motsvarande 3.1, 6.6 och 5.7 procent af motsvarande medeltal.

I öfverensstämmelse härmed är icke heller medelafvikelsen i afseende å torrsubstans och Kalorier större än $\pm$ 74 g resp. $\pm$ 400 Kal., d. ä. 6.2 resp. 5.6 procent.

Då således de individuela vexlingarna hos den förtärda grundkosten väsentligast bero på variationer af ett så lätt resorberbart näringsämne som sockret, kan man väl utan öfverdrift säga, att de i afseende å resorptionen af totalkosten i normalserien hos olika individer uppträdande olikheterna, för så vidt de öfverhufvud berott på födan, måste hafva haft sin grund i de olika mängder bröd, som af de olika försökspersonerna förtärts.

Näringstillförseln i brödet framgår ur tabell 5.

Tab. 5. *Normalserien; brödets sammansättning.*

Försöks-person	Torr-substans; g	N; g	Ägghvita; g	Fett; g	Växttråd; g	Öfriga kol-hydrat; g	Aska; g	Kalorier
1	327	4.2	26	7	6	275	13	1328
2	641	8.2	51	14	12	540	25	2600
3	546	7.0	44	12	10	459	21	2214
4	631	8.1	51	14	11	531	24	2560
5	640	8.2	51	14	12	539	24	2597
7	450	5.8	36	10	8	378	17	1824
8	315	4.0	25	7	6	265	12	1277
9	634	8.1	51	14	11	534	24	2571
10	370	4.7	29	8	7	312	14	1503
13	319	4.1	26	7	6	269	12	1295
17	417	5.3	33	9	8	352	16	1692
Medeltal	481	6.2	38	11	9	405	18	1951

Såsom synes, föreligga här mycket stora variationer, från ett minimum om 315 g (nr 8) till ett maximum om 641 g (nr 2), eller i Kalorier minimum 1,277 och maximum 2,600.

I tabell 6 är den totala mängden näringsämnen, som de olika försökspersonerna förtärt, sammanställd.

Af denna tabell framgår, att trots de mycket olika mängderna bröd likvisst de individuella variationerna äro af ungefär samma storleksordning som i grundkosten, om vi nämligen frånse kolhydraten, i afseende å hvilka medelafvikelsen uppgår till ± 129 g, något som dock ej motsvarar mera än 18.3 procent af medeltalet. För qväfvet, fettet och askan utgör medelafvikelsen ± 1.6, ± 31 och ± 6 g = 2.9, 6.1 och 6.0 procent. Torrsubstansen och Kalorierna visa en medelafvikelse om ± 133 g och ± 572 Kal.; den är således i absolut mått väsentligt större än hos grundkosten, men utgör i procent af motsvarande medeltal endast 7.9 resp. 6.3 procent.

Det är således blott i afseende å kolhydraten som de olika brödmängderna vållat några större individuella olikheter, och dessa stå i närmaste sammanhang med de olik-

Tab. 6. *Normalserien; total föda.*

Försöks-person	Torr-substans; g	N; g	Ägghvita; g	Fett; g	Växttråd; g	Öfriga kol-hydrat; g	Aska; g	Kalorier
1	1421	53.7	339	476	13	492	102	7883
2	1921	57.3	361	540	19	886	116	10210
3	1810	56.5	356	520	17	806	111	9666
4	1671	48.3	303	430	18	834	86	8732
5	1809	57.1	360	492	19	825	114	9506
7	1601	55.0	347	536	15	595	108	8910
8	1444	53.0	334	533	13	462	103	8269
9	1906	56.6	357	537	18	880	115	10135
10	1655	54.1	341	536	14	659	105	9141
13	1603	53.4	337	535	13	615	103	8928
17	1632	54.3	342	472	15	698	105	8716
Medeltal	1680	54.5	343	510	16	705	106	9100

heter, som i hydrocellulosaserierna uppträda på grund af de der förtärda olika stora mängderna bröd.

De elfva försökspersoner, som deltogo i normalserien, bilda alltså en ganska homogen grupp.

De försöksfödan motsvarande tarmuttömningarna hade följande sammansättning (se tabell 7).

Den individuella afvikelsen från medeltalen utgör här för torrsubstansen ± 23 g (14.7 proc.), för qväfvet ± 1.8 g (25.0 proc.), för fettet ± 7.5 g (22.1 proc.), för kolhydraten, utom växttråden, ± 4.5 g (11.5 proc.), för askan ± 2.6 g (9.6 proc.) samt för Kalorierna ± 117 Kal. (16.5 proc.).

Hos tarmuttömningarna är således variationsbredden betydligt större än hos födan, hvadan det är nödvändigt att undersöka orsakerna härtill.

Dessa kunna icke ligga i den olika mängden förtärd föda, ty mängden torrsubstans i tarmuttömningarna förlöper alls

Tab. 7. *Normalserien: tarmuttömningar för tre dygn.*

Försöks-person	Torrsub-stans; g	N; g	Ägghvita; g	Fett; g	Växttråd; g	Öfriga kol-hydrat; g	Aska; g	Kalorier
1	133	5.1	32	31	9	39	22	619
2	212	11.1	69	50	13	49	30	1003
3	179	8.3	52	33	14	49	31	780
4	154	7.4	46	26	13	41	28	650
5	141	7.1	44	32	11	32	22	653
7	136	5.0	31	26	14	36	28	576
8	181	10.0	63	40	9	38	32	816
9	176	9.1	57	40	13	40	26	825
10	147	5.8	36	40	8	35	27	702
13	161	7.2	45	41	10	37	28	759
17	97	3.4	21	17	8	31	20	405
Medeltal	156	7.2	45	34	11	39	27	708

icke parallelt med mängden torrsubstans i brödet eller i hela födan (se tabell 8).

Någon närmare diskussion kräfver denna sammanställning icke: den absoluta mängden torrsubstans i tarmuttömningarna är så godt som oberoende af hela födans, resp. brödets mängd torrsubstans. Vid 1444 g total torrsubstans i födan är den totala torrsubstansen i tarmuttömningarna lika stor som vid 1810 g; vid 315 och 319 g torrsubstans i brödet är mängden torrsubstans i tarmuttömningarna större än vid 640 g, o. s. v.

Grupperas försöken allteftersom mängden torrsubstans i födan utgjort 1420—1450 (nr 1, 8), 1600—1650 (nr 7, 13, 17), 1651—1700 (nr 10, 4), 1800—1850 (nr 5, 3), 1900—1950 g (nr 9, 2), utgör mängden torrsubstans i tarmuttömningarna i medeltal resp. 157, 131, 151, 160 och 194 g.

Endast i den sista gruppen med dess stora mängd torrsubstans i födan är torrsubstansen i tarmuttömningarna afgjordt större än i de öfriga grupperna.

Tab. 8. *Normalserien; jämförelse mellan torrsubstansen i födan och faeces.*

Försöks-person	Torrsubstans i brödet; g	Torrsubstans i faeces; g	Försöks-person	Torrsubstans i hela födan; g	Torrsubstans i faeces; g
8	315	181	1	1421	133
13	319	161	8	1444	181
1	327	133	7	1601	136
10	370	147	13	1603	161
17	417	97	17	1632	97
7	450	136	10	1655	147
3	546	179	4	1671	154
4	631	154	5	1809	141
9	634	176	3	1810	179
5	640	141	9	1906	176
2	641	212	2	1921	212

I öfverensstämmelse härmed finna vi, om vi till grund för jämförelsen lägga brödets torrsubstans, att vid 315—370 g (nr 8, 13, 1, 10) tarmuttömningarnas torrsubstans i medeltal utgjort 156 g, vid 400—450 g (nr 17, 7) 117 g, vid 546 g (nr 3) 179 g, vid 631—640 g (nr 4, 9, 5) 157 g och vid 641 g (nr 2) 212 g.

För dag beräknadt hafva tarmuttömningarna haft följande sammansättning (tabell 9).

Då den i tarmuttömningarna innehållna mängden qväfve också vid en i det närmaste qväfvefri föda kan utgöra ända till 1.5 g N för dag, kunna vi säga att hos försökspersonerna 1, 7, 10 och 17 födans qväfve nästan fullständigt tillgodogjorts i tarmkanalen. I dessa försök förtärdes i form af bröd resp. 1.4, 1.9, 1.6 och 1.8 g qväfve om dagen.

Ett jämförelsevis ringa öfverskott af qväfve — totalmängd per dag 2.0—2.8 — förete nr 3, 4, 5 och 13, der mängden qväfve i det förtärda brödet stigit till resp. 2.3, 2.7, 2.7, 1.4 g om dagen.

Tab. 9. *Normalserien; tarmuttömningar för ett dygn.*

Försöks-person	Torrsub-stans; g	N; g	Ägghvita; g	Fett; g	Växttråd; g	Öfriga kol-hydrat; g	Aska; g	Kalorier
1	44	1.7	11	10	3	13	7	206
2	71	3.7	23	17	4	16	10	334
3	60	2.8	17	11	5	16	10	260
4	51	2.5	15	9	4	14	9	217
5	47	2.4	15	11	4	11	7	218
7	45	1.7	10	9	5	12	9	192
8	60	3.3	21	13	3	13	11	272
9	59	3.0	19	13	4	13	9	275
10	49	1.9	12	13	3	12	9	234
13	54	2.4	15	14	3	12	9	253
17	32	1.1	7	6	3	10	7	135
Medeltal	52	2.4	15	11	4	13	9	236

Väsentligt större — 3.0—3.7 g om dagen — är qväfvemängden hos nr 2, 8 och 9 med 2.7, 1.3 och 2.7 g N i det dagliga brödet.

För så vidt frågan om individuella olikheter i afseende å tarmfunktionerna kan bedömas på grund af qväfvemängden i tarmuttömningarna, har digestionen således varit bäst hos nr 1, 7, 10 och 17, tämligen god hos nr 3, 4, 5 och 13 samt mindre god hos nr 2, 8 och 9.

Beträffande mängden af fett, kolhydrat, torrsubstans och kalorier i dessa tre grupper gifva försöken följande resultat (tabell 10).

I stort sedt stiger mängden fett, kolhydrat, torrsubstans och kalorier i dessa tre grupper parallellt med mängden af qväfve i tarmuttömningarna. Orsaken till de individuella variationerna ligger således i icke oväsentlig grad i en olika stor funktionsduglighet hos digestionsapparaten.

Om man beräknar de i tarmuttömningarna utsöndrade mängderna qväfve, fett o. s. v. såsom ren förlust af mot-

Tab. 10. *Normalserien; daglig mängd fett o. s. v. i faeces.*

Försöks-person	Fett; g	Kolhydrat; g	Torrsub-stans; g	Kalorier
1, 7, 10, 17	6—13	10—13	32—49	135—234
3, 4, 5, 13	9—14	11—16	47—60	217—260
2, 8, 9	13—17	13—16	59—71	272—331

svarande beståndsdelar i den upptagna födan erhållas följande procenttal (se tabell 11).

Tab. 11. *Normalserien; procentisk förlust af näringsämnena.*

Försöks-person	Torrsubstans	N	Fett	Växttråd	Öfriga kolhydrat	Aska	Kalorier
1	9.4	9.4	6.5	69.2	7.9	21.5	7.8
2	11.0	19.4	9.3	68.4	5.5	25.9	9.8
3	9.9	14.7	6.3	82.3	6.1	27.9	8.1
4	9.2	15.3	6.0	72.2	4.9	32.6	7.4
5	7.8	12.4	6.5	57.9	3.9	19.3	6.9
7	8.5	9.1	4.9	93.3	6.1	25.9	6.5
8	12.5	18.8	7.5	69.2	8.2	27.8	9.9
9	9.2	16.1	7.5	72.2	4.5	22.6	8.1
10	8.9	10.7	7.5	57.1	5.3	25.7	7.7
13	10.0	13.5	7.7	76.9	6.0	27.2	8.5
17	5.9	6.3	3.6	53.3	4.4	19.0	4.6
Medeltal	9.3	13.2	6.7	68.8	5.7	25.4	7.8

Förlusten af torrsubstans vexlar här mellan 5.9 och 12.5 procent och utgör i medeltal 9.3 procent. Uteslutes nr 17, hos hvilken resorptionen var ovanligt god, blir medeltalet 9.6 procent.

En jämförelse med de i tabell 10 angifna talen visar, att torrsubstansen i första gruppen tillgodogjorts med en

förlust af 5.9—9.4 procent, i den andra gruppen med en sådan af 7.8—10.0 procent, och i den tredje med en förlust af 9.2—12.5 procent. Också här föreligga således vissa antydningar om en större digestionsförmåga hos grupp 1 än hos de öfriga grupperna.

Den procentiska förlusten af qväfve rör sig mellan 6.3 och 19.4 och är i medeltal 13.2 procent eller, om nr 17 uteslutes, 14.0 procent.

Den procentiska förlusten af fett varierar mellan 3.6 och 9.3 samt är i medeltal 6.7 eller, med bortlemnande af nr 17, 7.0 procent.

Kolhydraten, utom växttråden i blåbären och brödet, hvars mängd var så liten att den i detta sammanhang icke behöfver beaktas, förete en medelförlust om 5.5 procent med gränsvärdena 3.9 och 7.9. I de fall, der den förtärda mängden kolhydrat varit mindre än 500 g (nr 8, 1), var förlusten 8.2—7.9 procent; vid en kolhydrattillförsel om 600—700 g (nr 7, 13, 17, 10) vexlar förlusten mellan 4.4. och 6.1 procent samt utgör vid mera än 800 g kolhydrat i födan (nr 2, 3, 4, 5 och 9) i ett fall 6.1, i de öfriga 3.9—5.5 procent.

Den procentiska förlusten af Kalorier belöper sig i medeltal till 7.8 med gränsvärdena 4.6 och 9.9 procent. Om nr 17 bortlemnas blir medeltalet 8.1 procent.

Den procentiska förlusten af torrsubstans, qväfve, fett, kolhydrat utom växttråd och Kalorier varierar således hos de olika forsökspersonerna inom rätt trånga gränser.

Ännu tydligare framgår detta genom beräkning af medelafvikelsen hos de enskilda procenttalen från motsvarande medeltal. Denna utgör nämligen för torrsubstansen $\pm$ 1.2, för qväfvet $\pm$ 3.3, för fettet $\pm$ 1.1, för kolhydraten $\pm$ 1.0 och för Kalorierna $\pm$ 1.0 procent.

I afseende å den procentiska förlusten af födans beståndsdelar äro således de individuella afvikelserna från medeltalet så pass obetydliga, att dessa medeltal utan betänklighet kunde användas såsom normaltal vid beräkningen af förlusten af den af grundkosten och mjölet bestående delen af den vid försöken med hydrocellulosa begagnade födan.

Likvisst anse vi det vara riktigast, att för de personer,

som deltogo i normalserien, använda de å dem sjelfva vunna resultaten. För de öfriga försökspersonerna skola vi lägga till grund för beräkningen de medelvärden, som erhållits ur normalserien med uteslutande af försökspersonen nr 17, och beräkna alltså för dem förlusten af

torrsubstans	till	9.6	procent
qväfve	»	14.0	»
fett	»	7.0	»
kolhydrat, utom växttråd	»	5.8	»
aska	»	26.0	»
Kalorier	»	8.1	»

För de tre dagar, försöket varade, var qväfvebalansen följande (tabell 12).

Tab. 12. *Normalserien; qväfvebalansen.*

Försöks-person	Qväfve; g			
	i födan	i faeces	i urinen	balans
1	53.7	5.1	53.4	— 4.8
2	57.3	11.1	45.2	+ 1.0
3	56.5	8.3	39.7	+ 8.5
4	48.3	7.4	36.8	+ 4.1
5	57.1	7.1	37.3	+ 12.7
7	55.0	5.0	42.2	+ 7.8
8	53.0	10.0	43.3	— 0.3
9	56.6	9.1	41.5	+ 6.0
10	54.1	5.8	52.0	— 3.7
13	53.4	7.2	39.3	+ 6.9
17	54.5	3.4	48.2	+ 2.7

Endast hos två af försökspersonerna förelåg en påtaglig qväfveförlust. Den ene af desse (nr 1) hade förtärt en föda, i hvilken nettotillförseln icke utgjorde mera än något öfver

27 Kalorier per dag och kilogram kroppsvigt. Hos den andra (nr 10) utgjorde nettotillförseln deremot 43 Kalorier per dag och kilogram kroppsvigt.

Försökspersonen nr 8 var i det närmaste i qväfvejämvigt; hos de öfriga 8 personerna var qväfvebalansen positiv.

I hög grad anmärkningsvärd är den betydande qväfveretentionen hos försökspersonerna nr 7 (7.8 g), 3 (8.5 g) och 5 (12.7 g). Måhända utgör den ett uttryck för att ifrågavarande personer under tiden före försöket alltför mycket lidit af den nu rådande stora lifsmedelsbristen. Motsvarande iakttagelser voro vi i tillfälle att göra också vid hydrocellulosaförsöken.

II. **Hydrocellulosaserie A, den 6.—8. juni 1918.**

De af försökspersonerna i denna serie förtärda mängderna af olika födoämnen äro angifna i tabell 13.

Tab. 13. *Hydrocellulosaserie A; förtärda födoämnen.*

Försöks-person	Ägg utan skal; g	Smör; g	Mjölk; cm	Ost; g	Anjovis; g	Socker; g	Torkade blåbär; g	Bröd; g
1	439	205	2700	240	362	—	40	814
3	452	270	2700	240	241	150	40	1564
4	419	270	2700	240	362	150	40	1600
7	428	270	2700	240	362	30	40	1416
8	443	270	2700	240	241	150	40	964
11	472	270	2700	240	362	80	40	1306
12	442	270	2700	240	362	150	40	1116
13	437	223	2700	240	121	150	40	901
Medeltal	441	256	2700	240	302	108	40	1210

Grundkostens sammansättning framgår af tabell 14.

Tab. 14. *Hydrocellulosaserie A; grundkostens sammansättning.*

Försöks-person	Torrsub-stans; g	N; g	Ägghvita; g	Fett; g	Växttråd; g	Öfriga kolhydrat; g	Aska; g	Kalorier
1	892	37.6	236	384	5	169	97	5267
3	1062	35.7	225	433	5	319	79	6294
4	1094	37.2	234	432	5	319	99	6315
7	972	37.4	235	433	5	200	99	5842
8	1059	35.5	224	432	5	319	79	6279
11	1033	38.3	241	437	5	250	99	6115
12	1094	37.6	237	434	5	319	99	6352
13	984	32.9	209	393	5	319	58	5857
Medeltal	1024	36.5	230	422	5	276	89	6041

Olikheterna mellan grundkosten i denna serie och i normalserien äro för de försökspersoner, som deltogo i begge, följande (se tabell 15 [1]).

Tab. 15. *Hydrocellulosaserie A; skillnaden mellan grundkosten i denna serie och i normalserien.*

Försöks-person	Torrsub-stans; g	N; g	Ägghvita; g	Fett; g	Växttråd; g	Öfriga kolhydrat; g	Aska; g	Kalorier
1	— 202	— 11.9	— 76	— 85	— 2	— 48	+ 8	— 1288
3	— 202	— 13.8	— 87	— 75	— 2	— 28	— 12	— 1158
4	+ 54	— 3.0	— 18	+ 16	— 2	+ 16	+ 37	+ 143
7	— 180	— 11.8	— 76	— 94	— 2	— 17	+ 8	— 1244
8	— 71	— 13.5	— 85	— 94	— 2	+ 122	— 12	— 713
13	— 300	— 16.4	— 101	— 135	— 2	— 28	— 35	— 1776
Medeltal	— 151	— 11.7	— 74	— 78	— 2	+ 3	— 1	— 1006

[1]) Ett + tecken anger att mängden varit större i hydrocellulosaserien.

Det i denna serie använda brödet innehöll på torrsubstansen 54 procent rågmjöl och 46 procent hydrocellulosa. I form af bröd erhöllo försökspersonerna den i tabell 16 angifna tillförseln.

Tab. 16. *Hydrocellulosaserie A; brödets sammansättning.*

Försöks-person	Torrsubstans; g			N; g	Ägghvita; g	Fett; g	Växttråd; g	Öfriga kolhydrat; g	Aska; g	Kalorier
	cellu-losa	råg-mjöl	sum-ma							
1	227	267	494	4.0	25	9	180	263	15	2009
3	436	512	948	7.7	48	18	347	506	30	3860
4	446	524	970	7.9	49	18	355	518	30	3949
7	395	463	858	7.0	44	16	314	458	27	3495
8	269	316	585	4.7	30	11	214	312	18	2379
11	364	428	792	6.4	40	15	290	423	25	3223
12	311	366	677	5.5	34	13	247	361	21	2754
13	251	295	546	4.4	28	10	200	292	17	2224
Medeltal	338	396	734	6.0	37	14	268	390	23	2987

Differensen mellan normalseriens rågbröd och det i denna serie förtärda rågmjölet var i afseende å torrsubstansen följande (tabell 17).

Tab. 17. *Hydrocellulosaserien A; skillnaden mellan brödet i normalserien och rågmjölet i denna.*

Försöksperson	Torrsubstans; g
1	— 60
3	— 34
4	— 107
7	+ 13
8	+ 1
13	— 24
Medeltal	— 35

Den totala näringstillförseln under försöket är sammanställd i tabell 18.

Tab. 18. *Hydrocellulosaserie A; total föda.*

Försöks-person	Torrsub-stans; g	N; g	Ägghvita; g	Fett; g	Växttråd; g	Öfriga kolhydrat; g	Aska; g	Kalorier
1	1386	41.6	262	393	185	433	113	7276
3	2010	43.4	273	451	352	826	109	10154
4	2059	45.1	284	450	360	837	129	10264
7	1830	44.4	279	449	319	658	125	9337
8	1644	40.2	254	443	219	631	97	8658
11	1825	44.7	281	452	295	673	124	9338
12	1771	43.1	272	447	252	680	120	9106
13	1531	37.3	237	404	205	610	75	8081
Medeltal	1758	42.5	267	436	273	668	112	9027

Denna totaltillförsel skiljer sig från totaltillförseln i normalserien i följande afseenden (tab. 19).

Tab. 19. *Hydrocellulosaserie A; skillnaden mellan hela kosten i denna serie och i normalserien.*

Försöks-person	Torrsub-stans; g	N; g	Ägghvita; g	Fett; g	Växttråd; g	Öfriga kolhydrat; g	Aska; g	Kalorier
1	— 35	— 12.1	— 77	— 83	+ 172	— 59	+ 11	— 607
3	+ 200	— 13.1	— 83	— 69	+ 335	+ 20	— 2	+ 488
4	+ 388	— 3.2	— 19	+ 20	+ 342	+ 3	+ 43	+ 1532
7	+ 229	— 10.6	— 68	— 87	+ 304	+ 63	+ 17	+ 427
8	+ 200	— 12.8	— 80	— 90	+ 206	+ 169	— 6	+ 389
13	— 72	— 16.1	— 100	— 131	+ 192	— 5	— 28	— 847
Medeltal	+ 152	— 11.3	— 71	— 73	+ 258	+ 32	+ 6	+ 230

Häraf framgår, att den totala mängden torrsubstans i de med hvarandra jämförbara försöken var något så när densamma, hvilket väsentligen beror på den stora mängden växttråd i cellulosaserien, ty mängden af qväfve och fett var i denna rätt betydligt lägre än i normalserien.

Öfver tarmuttömningarnas sammansättning lemnar tabell 20 upplysningar.

Tab. 20. *Hydrocellulosaserie A; tarmuttömningar för tre dygn.*

Försöks-person	Torrsub-stans; g	N; g	Ägghvita; g	Fett; g	Växttråd; g	Öfriga kolhydrat; g	Aska; g	Kalorier
1	254	6.4	40	33	112	46	24	1117
3	465	7.2	45	42	256	87	35	1980
4	562	12.4	78	54	303	84	43	2409
7	423	6.8	43	27	240	77	36	1727
8	402	9.1	57	34	194	84	32	1694
11	456	6.6	41	53	252	67	43	1970
12	348	10.0	63	50	128	72	36	1537
13	348	8.3	52	42	154	64	36	1494
Medeltal	407	8.3	52	42	205	73	36	1741

Detta utgör i medeltal för dag (tabell 21).

Hos alla försökspersoner öfverstiger N-mängden i tarmuttömningarna 2 g om dagen, och hos dem, som deltogo i denna serie och i normalserien, var densamma, med undantag af nr 3, här större. Äfven fettmängden är i allmänhet något större i denna serie. I intetdera fallet är dock skillnaden af någon afsevärd betydelse.

Däremot är olikheten beträffande torrsubstansen mycket stor och uppgår i medeltal till icke mindre än 84 g om dagen, hvilket naturligtvis har sin grund i den stora mängd hydrocellulosa, som oresorberad bortgått i tarmuttömningarna.

Tab. 21. *Hydrocellulosaserie A; tarmuttömningar för ett dygn.*

Försöks-person	Torrsub-stans; g	N; g	Ägghvita; g	Fett; g	Växttråd; g	Öfriga kolhydrat; g	Aska; g	Kalorier
1	85	2.1	13	11	37	15	8	372
3	155	2.4	15	14	85	29	12	660
4	187	4.1	26	18	101	28	14	803
7	141	2.3	14	9	80	26	12	576
8	134	3.0	19	11	65	28	11	565
11	152	2.2	14	18	84	22	14	657
12	116	3.3	21	17	43	24	12	512
13	116	2.8	17	14	51	21	12	498
Medeltal	136	2.8	17	14	68	24	12	580

Beträffande den procentiska förlusten af födans beståndsdelar hänvisas till tabell 22.

Tab. 22. *Hydrocellulosaserie A; procentisk förlust af näringsämnena.*

Försöks-person	Torrsub-stans	N	Fett	Växttråd	Öfriga kolhydrat	Aska	Kalorier
1	18.3	15.4	8.4	60.5	10.6	21.2	15.3
3	23.1	16.6	9.3	72.7	10.5	32.1	19.5
4	27.3	27.5	12.0	84.2	10.0	33.3	23.4
7	23.1	15.3	6.0	75.2	11.7	28.8	18.5
8	24.4	22.6	7.7	88.6	13.3	33.0	19.6
11	25.0	14.8	11.7	85.4	10.0	34.6	21.1
12	19.6	23.2	11.2	50.8	10.6	30.0	16.9
13	22.6	22.3	10.4	75.1	10.5	48.0	18.5
Medeltal	23.1	19.6	9.6	75.1	10.9	32.2	19.2

För de i begge serierna deltagande försökspersonerna var den procentiska förlusten af alla näringsämnen icke oväsentligt större än i normalserien (se tabell 23).

Tab. 23. *Hydrocellulosaserie A; den procentiska förlusten af näringsämnena i jämförelse med normalserien.*

Försöks-person	N	Fett	Öfriga kolhydrat
1	+ 6.0	+ 1.9	+ 2.7
3	+ 1.9	+ 5.7	+ 4.4
4	+ 12.2	+ 6.0	+ 5.1
7	+ 6.2	+ 1.1	+ 5.6
8	+ 3.8	+ 0.2	+ 5.1
13	+ 9.7	+ 3.5	+ 4.6

Förlusten af växttråd varierar rätt betydligt i de olika försöken, i det att densamma hos tvenne försökspersoner (nr 1 och 2) utgjorde endast 61 resp. 51 procent, under det att den hos de öfriga sex personerna höll sig mellan 73 och 89 procent. Såsom allmänt medeltal för förlusten erhålla vi 75 procent.

Den del af växttråden i hydrocellulosan, som icke återfanns i tarmuttömningarna, kan icke utan vidare anses vara resorberad i tarmen, ty härvid får icke förbises, att cellulosalösningen i tarmen icke sker genom någon enzymatisk process utan genom en jäsning, vid hvilken gasbildning eger rum. På grund häraf är den möjligen resorberade delen af cellulosan sjelffallet mindre än den mängd däraf, som icke återfinnes i tarmuttömningarna.

Men det kan dessutom vara fallet, att vid det i tarmen eventuellt försiggående nedbyggandet af hydrocellulosan produkter bildas, som icke kunna bestämmas enligt det König-ska förfarandet, men icke heller resorberas, utan afgifvas med tarmuttömningarna. Därjämte böra också de organiska beståndsdelar af den förtärda hydrocellulosan beaktas, som icke gifva sig till känna såsom växttråd enligt König, och hvilka enligt analysen af här begagnade hydrocellulosan utgjorde 15.5 procent af densammas torrsubstans.

För att komma till någon klarhet i detta afseende hafva vi jämfört torrsubstansen i tarmuttömningarna i föreliggande serie och i normalserien.

Härvid hafva vi för de försökspersoner, hvilka deltogo i normalserien och hydrocellulosaserien *A*, enligt de vid den förra funna talen för den procentiska förlusten med tarmuttömningarna äfvensom för de öfriga två försökspersonerna enligt ofvan angifna medeltal beräknat huru stor förlusten af torrsubstans skulle hafva varit, om resorptionen i hydrocellulosaserien *A* varit lika fullständig som i normalserien. Det sålunda erhållna värdet hafva vi subtraherat från den i tarmuttömningarna faktiskt funna mängden torrsubstans i nyssnämda serie och sålunda erhållit en rest, som uttrycker inflytandet af den förtärda hydrocellulosan på torrsubstansens mängd i tarmuttömningarna.

Resultaten innehållas i tabell 24.

Tab. 24. *Hydrocellulosaserie A; beräkning af tillgodogjord hydrocellulosa.*

Försöks-person	Torrsubstans; g						
	i födan			i tarmuttömningarna			i hydro-cellulosa
	grund-kost	rågmjöl	summa	beräknad	funnen	differens	
1	892	267	1159	109	254	145	227
3	1062	512	1574	156	465	309	436
4	1094	524	1618	149	562	413	446
7	972	463	1435	138	423	285	395
8	1059	316	1365	171	402	232	269
11	1033	428	1461	140	456	316	364
12	1094	366	1460	140	348	208	311
13	984	295	1279	128	348	220	251
Medeltal	1024	396	1420	140	407	267	338

Differensen mellan beräknad och funnen torrsubstans i tarmuttömningarna (spalt 7) utgör i medeltal 79.0 procent af den förtärda cellulosan. I de enskilda försöken är den-

samma resp. 63.9, 70.9, 92.6, 72.2, 87.0, 86.8, 66.9 och 87.6 procent.

En liknande beräkning af Kalorierna ger vid handen följande (se tabell 25).

Tab. 25. *Hydrocellulosaserie A; beräkning af tillgodogjorda Kalorier i hydrocellulosa.*

Försöks-person	Kalorier						
	i födan			i tarmuttömningarna			i hydro-cellulo-sa
	grund-kost	rågmjöl	summa	beräkn.	funna	differens	
1	5267	1103	6370	516	1117	611	930
3	6294	2115	8409	681	1980	1299	1788
4	6315	2164	8479	687	2409	1722	1829
7	5842	1912	7754	628	1727	1099	1620
8	6279	1305	7584	614	1694	1080	1103
11	6115	1768	7883	639	1970	1331	1492
12	6352	1512	7864	637	1537	900	1275
13	5857	1218	7075	573	1494	921	1029
Medeltal	6041	1637	7678	622	1741	1119	1383

I procent af medeltalet för hydrocellulosan utgör öfverskottet af tarmuttömningarnas kaloriska värde 80.9. För de enskilda försöken är denna resp. 65.7, 72.7, 94.1, 67.8, 97.9, 89.2, 70.6 och 89.5.

Qväfvebalansen för tre dagar framgår ur tabell 26.

Hos försökspersonerna nr 1, 3, 7, 12 och 13 var qväfvebalansen negativ; hos nr 8 egde qväfvejämvigt rum, och hos nr 11 förefanns en jämförelsevis obetydlig retention af qväfve. Så mycket märkligare är den hos nr 4 observerade enorma retentionen af 15.0 g qväfve, motsvarande 33.3 procent af det förtärda qväfvet. Det ligger ju nära till hands, att här

antaga en förlust af urin, men försökspersonen försäkrade bestämdt att någon sådan icke förelåg.

Tab. 26. *Hydrocellulosaserie A; qväfvebalansen.*

Försöks-person	Qväfve; g			
	i födan	i faeces	i urinen	balans
1	41.6	6.4	36.7	— 1.5
3	43.4	7.2	37.8	— 1.6
4	45.1	12.4	17.7	+ 15.0
7	44.4	6.8	41.1	— 3.5
8	40.2	9.1	30.9	+ 0.2
11	44.7	6.6	36.9	+ 1.2
12	43.1	10.0	36.1	— 3.0
13	37.3	8.3	34.4	— 5.4

Att qväfvebalansen i de flesta fall var negativ förklaras till en del däraf, att den med födan dagligen upptagna ägghvitemängden brutto var temligen liten — den utgjorde i medeltal endast 89 g om dagen med gränsvärdena 79 och 94 g, under det densamma i normalserien i medeltal steg till 114 g med gränsvärdena 101 och 120 g.

III. **Hydrocellulosaserie C; den 16.—18. juli 1918.**

Följande mängder födoämnen förtärdes af de olika försökspersonerna i denna serie (se tabell 27).

Tab. 27. *Hydrocellulosaserie C; förtärda födoämnen.*

Försöks-person	Ägg utan skal; g	Smör; g	Mjölk; ccm	Ost; g	Anjovis; g	Socker; g	Torkade blåbär; g	Bröd; g
1	490	185	3000	270	53	12	40	520
2	476	240	3000	270	54	150	40	1449
3	457	240	3000	270	—	150	40	1087
5	463	240	3000	270	242	35	40	1416
6	467	185	3000	270	121	78	40	748
7	457	240	3000	270	121	130	40	772
8	390	240	3000	270	121	—	40	550
9	464	240	3000	270	242	150	40	1691
10	471	240	3000	270	121	150	40	795
Medeltal	459	228	3000	270	119	95	40	1003

Grundkostens sammansättning är angifven i tabell 28.

Tab. 28. *Hydrocellulosaserie C; grundkostens sammansättning.*

Försöks-person	Torrsub-stans; g	N; g	Ägghvita; g	Fett; g	Växttråd; g	Öfriga kolhydrat; g	Aska; g	Kalorier
1	924	39.8	248	414	5	203	53	5724
2	1107	39.5	246	460	5	342	54	6711
3	1085	38.0	237	456	5	342	45	6637
5	1046	42.5	266	463	5	227	85	6353
6	1003	40.4	252	413	5	269	64	6000
7	1102	40.2	251	459	5	322	65	6642
8	953	38.7	241	451	5	191	64	5990
9	1161	42.5	266	464	5	342	85	6826
10	1126	40.6	253	461	5	342	65	6750
Medeltal	1056	40.2	251	449	5	287	64	6404

Af de personer, å hvilka denna serie utfördes, deltogo alla utom nr 6 i normalserien. Olikheterna i afseende å grundkosten framgå ur tabell 29.

Tab. 29. *Hydrocellulosaserie C; skillnaden mellan grundkosten i denna serie och i normalserien.*

Försöks-person	Torrsub-stans; g	N; g	Ägghvita; g	Fett; g	Växttråd; g	Öfriga kolhydrat; g	Aska; g	Kalorier
1	— 170	— 9.7	— 64	— 55	— 2	— 14	— 36	— 831
2	— 173	— 9.6	— 64	— 66	— 2	— 4	— 37	— 899
3	— 179	— 11.5	— 75	— 52	— 2	— 5	— 46	— 815
5	— 123	— 6.4	— 42	— 15	— 2	— 59	— 4	— 556
7	— 50	— 9.0	— 60	— 68	— 2	+ 105	— 26	— 444
8	— 177	— 10.3	— 68	— 78	— 2	— 6	— 27	— 1002
9	— 112	— 6.0	— 40	— 57	— 2	— 4	— 6	— 738
—10	— 159	— 8.8	— 59	— 67	— 2	— 5	— 26	— 888
Medeltal	— 143	— 8.9	— 59	— 57	— 2	+ 1	— 26	— 772

Tab. 30. *Hydrocellulosaserie C; brödets sammansättning.*

Försöks-person	Torrsubstans			N; g	Ägghvita; g	Fett; g	Växttråd; g	Öfriga kol-hydrat; g	Aska; g	Kalorier; g
	cellu-losa; g	råg-mjöl; g	sum-ma; g							
1	199	276	475	5.0	31	8	152	262	22	1897
2	556	767	1323	13.9	87	22	423	729	62	5285
3	417	575	992	10.4	65	17	317	547	46	3965
5	543	749	1292	13.6	85	22	413	713	60	5165
6	287	397	684	6.9	43	11	245	339	46	2671
7	297	409	706	7.1	44	11	253	350	47	2758
8	211	292	503	5.1	32	8	181	249	34	1965
9	648	895	1543	16.2	102	26	493	851	72	6168
10	305	422	727	7.3	46	11	261	361	48	2840
Medeltal	385	531	916	9.5	59	15	304	489	49	3635

Såväl af torrsubstansen som af hvart och ett af de olika näringsämnena förtärde således försökspersonerna i denna serie mindre än i normalserien; blott nr 7 förtärde i denna serie mera kolhydrat. Dock äro afvikelserna här mindre än i cellulosaserien A, något som tydligast framgår deraf, att medelafvikelsen för Kalorierna här är — 772, med gränsvärdena — 444 och — 1002, under det att i serien A vid ett medeltal af — 1006 gränsvärdena utgöra + 143 och — 1776.

Brödet i föreliggande serie bestod af 42 procent torr hydrocellulosa och 58 procent torrt rågmjöl samt förtärdes i följande mängder (tabell 30).

Skillnaden mellan torrsubstansen i normalseriens rågbröd och rågmjölet i denna serie utgjorde (se tabell 31):

Tab. 31. *Hydrocellulosaserie C; skillnaden mellan brödet i normalserien och rågmjölet i denna.*

Försöksperson	Torrsubstans; g
1	— 51
2	+ 126
3	+ 29
5	+ 109
7	— 41
8	— 23
9	+ 261
10	+ 58
Medeltal	+ 50

I öfver halfva antalet fall innehöll således kosten vid detta försök mera rågmjöl än det i normalserien förtärda brödet.

Totaltillförseln i denna serie är sammanställd i tabell 32.

Tab. 32. *Hydrocellulosaserie C; total föda.*

Försöks-person	Torrsub-stans; g	N; g	Ägghvita; g	Fett; g	Växttråd; g	Öfriga kol-hydrat; g	Aska; g	Kalorier
1	1398	44.8	279	422	157	465	75	7621
2	2430	53.4	333	482	428	1071	116	11996
3	2077	48.4	302	473	322	889	91	10602
5	2339	56.1	351	485	418	940	145	11518
6	1687	47.3	295	424	250	608	110	8671
7	1808	47.3	295	470	258	672	112	9400
8	1455	43.8	273	459	186	441	98	7955
9	2705	58.7	368	489	498	1193	157	12994
10	1853	47.9	299	473	266	703	113	9590
Medeltal	1971	49.7	310	464	309	776	113	10039

Från normalserien skiljer sig denna tillförsel på följande sätt (se tabell 33).

Tab. 33. *Hydrocellulosaserie C; skillnaden mellan hela kosten i denna serie och i normalserien.*

Försöks-person	Torrsub-stans; g	N; g	Ägghvita; g	Fett; g	Växttråd; g	Öfriga kol-hydrat; g	Aska; g	Kalorier
1	— 23	— 8.9	— 60	— 54	+ 144	— 27	— 27	— 262
2	+ 509	— 3.9	— 28	— 58	+ 409	+ 185	0	+ 1786
3	+ 267	— 8.1	— 54	— 47	+ 305	+ 83	— 20	+ 936
5	+ 530	— 1.0	— 9	— 7	+ 399	+ 115	+ 31	+ 2012
7	+ 207	— 8.7	— 52	— 66	+ 243	+ 77	+ 4	+ 490
8	+ 11	— 9.2	— 61	— 74	+ 173	— 21	— 5	— 314
9	+ 799	+ 2.1	+ 11	— 48	+ 480	+ 307	+ 42	+ 2859
10	+ 198	— 6.2	— 42	— 63	+ 252	+ 44	+ 8	+ 449
Medeltal	+ 312	— 5.5	— 37	— 52	+ 301	+ 95	+ 4	+ 994

Här var således mängden af torrsubstans och Kalorier i födan större än i normalförsöket, hvilket har sin grund i den tillfogade hydrocellulosan, hvars totala torrsubstans i medeltal utgjorde 385 g.

För öfrigt innehöll kosten i medeltal 5.5 g mindre qväfve och 52 g mindre fett än i normalserien.

Tarmuttömningarna hade följande sammansättning (tabell 34).

Tab. 34. *Hydrocellulosaserie C; tarmuttömningar för tre dygn.*

Försöks-person	Torrsub-stans; g	N; g	Äggvita; g	Fett; g	Växttråd; g	Öfriga kol-hydrat; g	Aska; g	Kalorier
1	297	7.2	45	60	116	47	30	1407
2	674	10.9	68	64	423	80	39	2939
3	527	8.8	55	48	300	86	38	2255
5	602	11.2	70	49	359	86	38	2567
6	346	7.7	48	52	171	44	32	1557
7	293	4.6	29	32	165	44	24	1272
8	322	7.2	45	37	173	38	29	1398
9	758	14.1	88	80	425	106	59	3281
10	369	6.4	40	41	206	51	31	1603
Medeltal	465	8.7	54	51	260	65	36	2031

Detta utgör för dag (tabell 35).

Äfven i denna serie är qväfveutsöndringen i tarmuttömningarna något större än i normalserien; dock uppgår skillnaden i medeltal för dag endast till 0.5 g. Hos nr 8 är tarmuttömningarnas N-mängd väsentligt mindre än i motsvarande försök i normalserien, 2.4 mot 3.3 g.

Tab. 35. *Hydrocellulosaserie C: tarmuttömningar för ett dygn.*

Försöks-person	Torrsub-stans; g	N; g	Ägghvita; g	Fett; g	Växttråd; g	Öfriga kol-hydrat; g	Aska; g	Kalorier
1	99	2.4	15	20	39	16	10	469
2	225	3.6	23	21	141	27	13	980
3	176	2.9	18	16	100	29	13	752
5	201	3.7	23	16	120	29	13	856
6	115	2.6	16	17	57	15	11	519
7	98	1.5	10	11	55	15	8	424
8	107	2.4	15	12	58	13	10	466
9	253	4.7	29	27	142	35	20	1094
10	123	2.1	13	14	69	17	10	531
Medeltal	155	2.9	18	17	87	22	12	677

Likaså är fettmängden i tarmuttömningarna äfvensom mängden af kolhydrat, utom växttråd, i denna serie något större än i normalserien.

Tab. 36. *Hydrocellulosaserie C; procentisk förlust af näringsämnena.*

Försöks-person	Torrsub-stans	N	Fett	Växttråd	Öfriga kol-hydrat	Aska	Kalorier
1	21.3	16.1	14.2	73.9	10.0	40.0	18.4
2	27.7	20.4	13.3	98.8	7.4	33.6	24.5
3	25.4	18.2	10.1	93.2	9.6	41.7	21.3
5	25.7	20.0	10.1	85.9	9.1	26.2	22.3
6	20.5	16.3	12.3	68.4	7.2	29.1	18.0
7	16.2	9.7	6.8	64.0	6.5	21.4	13.5
8	22.1	16.4	8.1	93.0	8.5	29.6	17.6
9	28.0	24.0	16.4	85.3	8.9	37.6	25.3
10	19.9	13.2	8.7	77.4	7.2	27.4	16.7
Medeltal	23.0	17.2	11.1	82.2	8.3	31.8	19.7

Den procentiska förlusten af de olika näringsämnena framgår ur tabell 36.

För de försökspersoner, som deltogo såväl i denna serie, som i normalserien är skillnaden i afseende å tillgodogörandet af födans qväfve, fett och kolhydrat utom cellulosa följande (se tabell 37).

Tab. 37. *Hydrocellulosaserie C; den procentiska förlusten af näringsämnena i jämförelse med normalserien.*

Försöks-person	N	Fett	Kolhydrat utom cellulosa
1	+ 6.7	+ 7.7	+ 2.1
2	+ 1.0	+ 4.0	+ 1.9
3	+ 3.5	+ 3.8	+ 3.5
5	+ 7.6	+ 3.6	+ 5.2
7	+ 0.6	+ 1.9	+ 0.4
8	— 2.4	+ 0.5	+ 0.3
9	+ 7.9	+ 8.9	+ 4.4
10	+ 2.5	+ 1.2	+ 1.9

Vi finna här differenser af samma storleksordning som i cellulosaserien A.

Förlusten af växttråd varierar inom trängre gränser än i nyssnämda serie. Den minsta förlusten uppgår till 64.0 procent, den största till 98.8 procent. Det allmänna medeltalet är 82.2 procent.

En beräkning af denna serie enligt de grunder, på hvilka tabellerna 24 och 25 här ofvan beräknats, hafva gifvit följande resultat (se tabellerna 38 och 39).

Tab. 38. *Hydrocellulosaserie C; beräkning af tillgodogjord hydrocellulosa.*

Försöks-person	Torrsubstans; g						
	i födan			i tarmuttömningarna			i hydro-cellu-losa
	grund-kost	rågmjöl	summa	beräkn.	funnen	differens	
1	924	276	1200	113	297	184	199
2	1107	767	1874	206	674	468	556
3	1085	575	1660	175	527	352	417
5	1046	749	1795	140	602	462	543
6	1003	397	1400	134	346	212	287
7	1102	409	1511	128	293	165	297
8	953	292	1245	156	322	166	211
9	1161	895	2056	189	758	569	648
10	1126	422	1548	138	369	231	305
Medeltal	1056	531	1587	153	465	312	385

Tab. 39. *Hydrocellulosaserie C: beräkning af tillgodogjorda Kalorier i hydrocellulosa.*

Försöks-person	Kalorier						
	i födan			i tarmuttömningarna			i hydro-cellulo-sa
	grund-kost	rågmjöl	summa	beräkn.	funna	differens	
1	5724	1143	6867	556	1407	851	796
2	6711	3175	9886	801	2939	2138	2224
3	6637	2381	9016	640	2255	1615	1668
5	6353	3101	9454	765	2567	1802	2172
6	6000	1644	7644	619	1557	938	1148
7	6642	1693	8335	675	1272	597	1188
8	5990	1209	7199	583	1398	815	844
9	6826	3705	10531	853	3281	2428	2592
10	6750	1747	8497	688	1603	915	1220
Medeltal	6404	2200	8604	687	2031	1344	1540

Differensen mellan beräknad och funnen torrsubstans utgör i medeltal 312 g, motsvarande 81.0 procent af den med

födan förtärda hydrocellulosan. I de enskilda försöken utgör denna procent resp. 92.0, 84.2, 84.4, 85.7, 73.9, 55.6, 78.7, 87.8 och 75.7.

I procent af medeltalet af den förtärda hydrocellulosans kalorimängd utgör tarmuttömningarnas 87.3. För de enskilda försökspersonerna är denna procent 106.9, 96.1, 96.8, 83.0, 81.7, 50.3, 96.6, 93.6 och 75.0.

Qväfvebalansen i denna serie framgår ur tabell 40.

Tab. 40. *Hydrocellulosaserie C; qväfvebalansen.*

Försöksperson	Qväfve; g			
	i födan	i faeces	i urinen	balans
2	53.4	10.9	43.2	— 0.7
5	56.1	11 2	38.5	+ 6.4
6	47.3	7.7	36.7	+ 2.9
7	47.3	4.6	43.9	— 1.2
8	43.8	7.2	30.6	+ 6.0
9	58.7	14.1	47.6	— 3.0
10	47.9	6.4	44.3	— 2.8

Hos försökspersonerna nr 1 och 3 kunde qväfvebalansen icke bestämmas, emedan deras uriner hade förvexlats. Försökspersonerna nr 5, 6 och 8 retinerade i medeltal icke mindre än 5.1 g N under försökstiden, medan de öfriga, nr 2, 6, 9 och 10 företedde en negativ balans, som i medeltal uppgick till 1.9 g för tre dagar.

IV. **Hydrocellulosaserie D; den 31. juli—2. augusti 1918.**

Följande mängder af de olika födoämnena förtärdes af försökspersonerna i denna serie (tabell 41).

Tab. 41. *Hydrocellulosaserie D; förtärda födoämnen.*

Försöks-person	Ägg utan skal; g	Smör; g	Mjölk; ccm	Ost; g	Medwurst; g	Socker; g	Torkade blåbär; g	Bröd; g
2	414	201	2350	147	205	90	40	1016
4	380	247	2850	157	210	104	40	1339
9	451	270	2850	240	295	150	40	1380
14	464	270	2850	240	16	111	40	641
15	481	270	2850	130	253	124	40	1089
Medeltal	438	252	2750	183	176	116	40	1093

Grundkostens sammansättning framgår ur tabell 42.

Tab. 42. *Hydrocellulosaserie D; grundkostens sammansättning.*

Försöks-person	Torrsub-stans; g	N; g	Ägghvita; g	Fett; g	Växttråd; g	Öfriga kol-hydrat; g	Aska; g	Kalorier
2	901	34.5	216	363	5	247	70	5295
4	997	35.4	221	411	5	285	75	5917
9	1216	47.0	294	487	5	336	94	7129
14	1030	38.4	240	433	5	295	57	6240
15	1107	40.3	252	461	5	307	82	6595
Medeltal	1050	39.1	245	431	5	294	76	6233

Olikheterna i afseende å grundkosten i denna serie och i normalserien voro följande (tabell 43).

Hos försökspersonerna nr 4 och 9 förefans en rätt stor öfverensstämmelse mellan normalserien och den nu föreliggande, i det att denna senare innehåller endast 255 resp. 435 kalorier mindre än den förra. Deremot är afvikelsen hos försökspersonen nr 2 mycket betydande.

Det vid försöket använda brödets torrsubstans utgjordes till 40 procent af hydrocellulosa och till 60 procent af råg-

mjöl; i detsamma tillfördes försökspersonerna de i tabell 44 angifna näringsämnena.

Tab. 43. *Hydrocellulosaserie D; skillnaden mellan grundkosten i denna och i normalserien.*

Försöks-person	Torrsub-stans; g	N; g	Ägghvita; g	Fett; g	Växttråd; g	Öfriga kol-hydrat; g	Aska; g	Kalorier
2	— 379	— 14.6	— 94	— 163	— 2	— 99	— 21	— 2315
4	— 43	— 4.8	— 31	— 5	— 2	— 18	+ 13	— 255
9	— 57	— 1.5	— 9	— 36	— 2	— 10	+ 3	— 435
Medeltal	— 160	— 7.0	— 44	— 68	— 2	— 42	— 2	— 1002

Tab. 44. *Hydrocellulosaserie D; brödets sammansättning.*

Försöks-person	Torrsubstans; g			N; g	Ägghvita; g	Fett; g	Växttråd; g	Öfriga kol-hydrat; g	Aska; g	Kalorier
	cellu-losa	råg-mjöl	sum-ma							
2	366	550	916	9.8	61	22	259	549	25	3769
4	483	725	1208	12.9	81	29	341	724	33	4968
9	498	747	1245	13.3	83	29	352	746	34	5120
14	231	347	578	6.2	39	14	163	347	16	2378
15	393	589	982	10.5	66	23	278	589	27	4040
Medeltal	394	592	986	10.5	66	23	279	591	27	4055

Skillnaden i torrsubstans mellan normalseriens rågbröd och rågmjölet i denna serie utgör (se tabell 45);

Tab. 45. *Hydrocellulosaserie D; skillnaden mellan brödet i normalserien och rågmjölet i denna.*

Försöksperson	Torrsubstans; g
2	— 91
4	+ 94
9	+ 113
Medeltal	+ 39

Försökspersonerna nr 4 och 9 förtärde således mera och försökspersonen nr 2 mindre rågmjöl i denna serie.

Totaltillförseln i denna serie framgår ur tabell 46.

Tab. 46. *Hydrocellulosaserie D; total föda.*

Försöks-person	Torrsub-stans; g	N; g	Ägghvita; g	Fett; g	Växttråd; g	Öfriga kol-hydrat; g	Aska; g	Kalorier
2	1817	44.3	277	385	264	796	95	9064
4	2205	48.3	302	440	346	1009	108	10885
9	2461	60.3	377	516	357	1082	128	12249
14	1608	44.6	279	447	168	642	73	8618
15	2089	50.8	318	484	283	896	109	10635
Medeltal	2036	49.6	311	454	284	885	103	10288

Skillnaden mellan totaltillförseln i denna serie och i normalserien var för försökspersonerna nr 2, 4 och 9 följande (se tabell 47).

Tab. 47. *Hydrocellulosaserie D; skillnaden mellan hela kosten i denna serie och i normalserien.*

Försöks-person	Torrsub-stans; g	N; g	Ägghvita; g	Fett; g	Växttråd; g	Öfriga kol-hydrat; g	Aska; g	Kalorier
2	— 104	— 13.0	— 84	— 155	+ 245	— 90	— 21	— 1146
4	+ 534	0	— 1	+ 10	+ 328	+ 165	+ 22	+ 2153
9	+ 555	+ 3.7	+ 20	— 21	+ 339	+ 202	+ 13	+ 2114
Medeltal	+ 328	— 3.1	— 22	— 55	+ 304	+ 92	+ 5	+ 1040

Den totala mängden torrsubstans och Kalorier var hos försökspersonerna nr 4 och 9 icke obetydligt större än i normalförsöket och berodde här icke allenast på en ökad tillförsel af växttråd, utan ock på en rikligare mängd af öfriga kolhydrat i födan. Hos försökspersonen nr 9 innehöll dess-

utom kosten vid hydrocellulosaförsöket något mera qväfve, och hos nr 4 något mera fett än i normalserien. Deremot var den af försökspersonen nr 2 förtärda kosten fattigare både på qväfve, fett och kolhydrat, utom växttråd.

Tarmuttömningarnas kemiska beskaffenhet framgår ur tabell 48.

Tab. 48. *Hydrocellulosaserie D; tarmuttömningar för tre dygn.*

Försöks-person	Torrsub-stans; g	N; g	Ägghvita; g	Fett; g	Växttråd; g	Öfriga kol-hydrat; g	Aska; g	Kalorier
2	545	13.0	81	69	261	92	42	2424
4	630	10.0	63	60	338	123	46	2706
9	701	12.8	80	78	369	112	62	3025
14	308	5.3	33	34	157	54	31	1314
15	538	10.4	65	60	264	109	40	2359
Medeltal	544	10.3	64	60	278	98	44	2366

Detta utgör för dag (tabell 49).

Tab. 49. *Hydrocellulosaserie D; tarmuttömningar för ett dygn.*

Försöks-person	Torrsub-stans; g	N; g	Ägghvita; g	Fett; g	Växttråd; g	Ögriga kol-hydrat; g	Aska; g	Kalorier
2	182	4.3	27	23	87	31	14	808
4	210	3.3	21	20	113	41	15	902
9	234	4.3	27	26	123	37	21	1008
14	103	1.8	11	11	52	18	10	438
15	179	3.5	22	20	88	36	13	786
Medeltal	182	3.4	21	20	93	33	15	789

Blott hos försökspersonen nr 14 är N-utsöndringen genom tarmen mindre än 2 g om dagen, och i medeltal är förlusten af qväfve genom tarmuttömningarna 1 g större än i normalserien.

Desslikes är förlusten af fett och kolhydrat, utom växttråd, i denna serie större än i normalserien.

Den procentiska förlusten af den upptagna födan och dennas särskilda beståndsdelar var följande (tabell 50).

Tab. 50. *Hydrocellulosaserie D; procentisk förlust af näringsämnena.*

Försöksperson	Torrsubstans	N	Fett	Växttråd	Öfriga kolhydrat	Aska	Kalorier
2	30.0	29.3	17.9	98.9	11.5	43.7	26.7
4	28.6	20.7	13.7	97.7	12.2	42.2	24.9
9	28.5	21.2	15.1	103.4	10.3	48.4	24.7
14	19.2	11.9	7.6	93.5	8.4	42.5	15.2
15	25.8	20.5	12.4	93.3	12.1	36.7	22.2
Medeltal	26.4	20.8	13.2	97.4	10.9	42.7	22.8

I förhållande till normalkosten är differensen af det procentiska tillgodogörandet i denna serie som följer (tabell 51).

Tab. 51. *Hydrocellulosaserie D; den procentiska förlusten af näringsämnena i jämförelse med normalserien.*

Försöksperson	N	Fett	Kolhydrat utom växttråd
2	+ 9.9	+ 8.6	+ 6.0
4	+ 5.4	+ 7.7	+ 7.3
9	+ 5.1	+ 7.6	+ 5.8

I denna serie är differensen i afseendet å det procentiska tillgodogörandet af qväfve, fett och kolhydrat, utom växt-

tråd, af samma storleksordning som i hydrocellulosaserierna A och C.

Förlusten af växttråd är här större än i de tidigare hydrocellulosaserierna och utgör i medeltal 97.4 procent med gränsvärdena 93.3 och 103.4 procent.

Tab. 52. *Hydrocellulosaserie D; beräkning af tillgodogjord hydrocellulosa.*

Försöksperson	Torrsubstans; g						
	i födan			i tarmuttömningarna			i hydrocellulosa
	grundkost	rågmjöl	summa	beräknad	funnen	differens	
2	901	550	1451	160	545	385	366
4	997	725	1722	150	630	472	483
9	1216	747	1963	181	701	520	498
14	1030	347	1377	132	308	176	231
15	1107	589	1696	163	538	375	393
Medeltal	1050	592	1642	159	544	385	394

Tab. 53. *Hydrocellulosaserie D; beräkning af tillgodogjorda Kalorier i hydrocellulosa.*

Försöksperson	Kalorier						
	i födan			i tarmuttömningarna			i hydrocellulosa
	grundkost	rågmjöl	summa	beräknade	funna	differens	
2	5295	2041	7336	719	2424	1705	1501
4	5917	2690	8607	637	2706	2069	1980
9	7129	2771	9900	802	3025	2223	2042
14	6240	1287	7527	610	1314	704	947
15	6595	2185	8780	711	2359	1648	1611
Medeltal	6233	2195	8428	696	2366	1670	1616

Genom en likadan beräkning, som den i tabellerna 24 och 25 genomförda, hafva vi erhållit de i tabellerna 52 och

53 angifna talen angående det inflytande, som hydrocellulosan utöfvat på tillgodogörandet af torrsubstans och Kalorier.

Det på hydrocellulosan beroende öfverskottet af torrsubstans i tarmuttömningarna utgör i medeltal 97.7 procent af densamma. För de enskilda försöken är denna resp. 105.2, 97.7, 104.4, 76.2 och 95.4 procent.

Förlusten af Kalorier, beräknad på den förtärda hydrocellulosan, uppgår i medeltal till 100.7 procent, och i de särskilda försöken till resp. 113.6, 104.5, 108.9, 74.3 och 102.3 procent.

Qväfvebalansen framgår ur tabell 54.

Tab. 54. *Hydrocellulosaserie D; qväfvebalansen.*

Försöksperson	Qväfve; g			
	i födan	i faeces	i urinen	balans
2	44.3	13.0	45.7	— 14.4
4	48.3	10.0	36.2	+ 2.1
9	60.3	12.8	50.2	— 2.7
14	44.6	5.3	37.1	+ 2.2
15	50.8	10.4	32.9	+ 7.5

Försökspersonen nr 2 företedde en stark negativ balans, som väl närmast sammanhänger med att mängden resoberadt qväfve för alla tre dagar endast utgjorde 31.3 g och att den absoluta tillförseln af Kalorier — 6640 Kal. netto för tre dagar — med hänsyn till försökspersonens arbete var alldeles för obetydlig.

I tre af de öfriga försöken i denna serie egde en qväfveretention rum, i ett förelåg en förlust af 2.7 g för hela perioden, ehuru mängden resorberadt qväfve här uppgick till 47.5 g och den totala kaloritillförseln, netto, till 9224 Kalorier.

V. **Hydrocellulosaserie E; den 31. juli—2. augusti 1918.**

Härvid förtärdes följande födoämnen (tabell 55).

Tab. 55. *Hydrocellulosaserie E; förtärda födoämnen.*

Försöks-person	Ägg utan skal; g	Smör; g	Mjölk; ccm	Ost; g	Medwurst; g	Socker; g	Torkade blåbär; g	Bröd; g
8	466	270	2850	240	234	—	40	438
12	449	256	2850	240	295	85	40	1392
16	451	218	2850	240	295	—	40	502
Medeltal	455	248	2850	240	268	28	40	777

Den kemiska sammansättningen af grundkosten ses af tabell 56.

Tab. 56. *Hydrocellulosaserie E; grundkosten.*

Försöks-person	Torrsub-stans; g	N; g	Ägghvita; g	Fett; g	Växttråd; g	Öfriga kol-hydrat; g	Aska; g	Kalorier
8	1037	45.4	284	476	5	186	86	6377
12	1171	47.0	294	443	5	336	93	6726
16	1138	47.0	294	475	5	271	94	6750
Medeltal	1115	46.5	291	465	5	264	91	6618

I jämförelse med normalserien företedde den af försökspersonerna nr 8 och 10 förtärda kosten följande olikheter (tabell 57).

Tab. 57. *Hydrocellulosaserie E; skillnaden mellan grundkosten i denna och i normalserien.*

Försöks-person	Torrsub-stans; g	N; g	Ägghvita; g	Fett; g	Växttråd; g	Öfriga kol-hydrat; g	Aska; g	Kalorier
8	— 93	— 3.6	— 22	— 50	— 2	— 11	— 5	— 615
10	— 114	— 2.4	— 18	— 85	— 2	— 11	+ 2	— 912
Medeltal	— 104	— 3.0	— 20	— 68	— 2	— 11	— 2	— 753

Det i denna serie begagnade brödet var bakadt af 40 procent torr hydrocellulosa och 60 procent torrt rågmjöl (se tabell 58).

Tab. 58. *Hydrocellulosaserie E; brödets sammansättning.*

Försöks-person	Torrsubstans; g			N; g	Ägghvita; g	Fett; g	Växttråd; g	Öfriga kol-hydrat; g	Aska; g	Kalorier
	i cellu-losa	i råg-mjöl	sum-ma							
8	158	238	396	4.1	25	9	118	232	11	1629
10	181	273	454	4.7	29	11	136	266	13	1867
16	504	755	1259	12.9	81	29	376	738	35	5178
Medeltal	281	422	703	7.2	45	16	210	412	20	2891

Skillnaden i afseende å torrsubstans mellan normalseriens rågbröd och rågmjölet i denna serie är angifven i tabell 59.

Tab. 59. *Hydrocellulosaserie E; skillnaden mellan brödet i normalserien och rågmjölet i denna.*

Försöksperson	Torrsubstans; g
8	— 77
10	— 97
Medeltal	— 87

Tab. 60. *Hydrocellulosaserie E; total föda.*

Försöks-person	Torrsub-stans; g	N; g	Ägghvita; g	Fett; g	Växttråd; g	Öfriga kol-hydrat; g	Aska; g	Kalorier
8	1434	49.5	309	485	124	419	97	8006
10	1625	51.7	323	454	141	602	106	8593
16	2397	59.9	375	504	381	1009	129	11928
Medeltal	1819	53.7	336	481	215	677	112	9509

Begge försökspersonerna förtärde i denna serie mindre rågmjöl än under normalserien.

Totaltillförseln var i denna serie (tabell 60).

I jämförelse med normalserien företedde den totala näringstillförseln i denna följande olikheter (tabell 61).

Tab. 61. *Hydrocellulosaserie E; skillnaden mellan hela kosten i denna serie och i normalserien.*

Försöksperson	Torrsubstans; g	N; g	Ägghvita; g	Fett; g	Växttråd; g	Öfriga kolhydrat; g	Aska; g	Kalorier
8	— 10	— 3.5	— 25	— 48	+ 111	— 43	— 6	— 263
10	— 30	— 2.4	— 18	— 82	+ 127	— 57	+ 1	— 549
Medeltal	— 20	— 3.0	— 22	— 65	+ 119	— 50	— 3	— 406

Hos begge försökspersonerna var mängden af alla näringsämnen utom af växttråd något mindre än i normalserien.

Tarmuttömningarnas sammansättning framgår ur tabell 62.

Tab. 62. *Hydrocellulosaserie E; tarmuttömningar för tre dygn.*

Försöksperson	Torrsubstans; g	N; g	Ägghvita; g	Fett; g	Växttråd; g	Öfriga kolhydrat; g	Aska; g	Kalorier
8	310	8.0	50	43	135	49	33	1357
10	308	5.2	33	34	110	97	34	1301
16	670	9.3	58	77	368	191	46	2961
Medeltal	429	7.5	47	51	204	89	38	1873

Detta utgör för dag (se tabell 63).

Tab. 63. *Hydrocellulosaserie E: tarmuttömningar för ett dygn.*

Försöks-person	Torrsub-stans; g	N; g	Ägghvita; g	Fett; g	Växttråd; g	Öfriga kol-hydrat; g	Aska; g	Kalorier
8	103	2.7	17	14	45	16	11	452
10	103	1.7	11	11	37	32	11	434
16	223	3.1	19	26	123	40	15	987
Medeltal	143	2.5	16	17	68	30	13	624

Hos försökspersonen nr 10 är qväfveutsöndringen i tarmuttömningarna mindre än 2 g för dag; i medeltal är densamma lika stor som i normalserien. Fettmängden är något större och kolhydratmängden, utom växttråd, likaledes.

Den procentiska förlusten af de förtärda näringsämnena är sammanställd i tabell 64.

Tab. 64. *Hydrocellulosaserie E: procentisk förlust af näringsämnena.*

Försöks-person	Torrsub-stans	N	Fett	Växttråd	Öfriga kol-hydrat	Aska	Kalorier
8	21.6	16.2	8.9	109.7	11.7	34.0	16.9
10	19.0	10.1	7.5	78.0	16.1	32.1	15.1
16	28.0	15.5	15.4	96.6	12.0	35.7	24.9
Medeltal	22.9	14.0	10.6	94.9	13.3	33.9	19.0

I förhållande till normalserien är tillgodogörandet af qväfve, fett och kolhydrat, utom växttråd, i denna serie sämre. Undantag bildar försökspersonen nr 8, som i denna serie bättre tillgodogjorde qväfvet; hos nr 10 var den procentiska förlusten af fett lika stor i begge serierna; jfr. tabell 65.

Tab. 65. *Hydrocellulosaserie E; den procentiska förlusten af näringsämnena i jämförelse med normalserien.*

Försöks-person	N	Fett	Kolhydrat utom växttråd
8	— 2.6	+ 1.4	+ 3.5
10	+ 0.6	0	+ 10.8

Förlusten af växttråd var i denna serie ungefär lika stor som i hydrocellulosaserien D; den utgör i medeltal 94.9 procent med gränsvärdena 78.0 och 109.7 procent.

Beräkningen af den på hydrocellulosan kommande delen af förlusten med tarmuttömningarna (se tabell 24 och 25) har gifvit de i tabellerna 66 och 67 upptagna resultaten.

Tab. 66. *Hydrocellulosaserie E; beräkning af tillgodogjord hydrocellulosa.*

Försöks-person	Torrsubstans; g						
	i födan			i tarmuttömningarna			i hydro-cellulosa
	grund-kost	rågmjöl	summa	beräk-nad	funnen	differens	
8	1037	238	1275	159	310	151	158
10	1171	273	1444	129	308	179	181
16	1138	755	1893	182	670	486	504
Medeltal	1115	422	1537	157	429	272	281

Tab. 67. *Hydrocellulosaserie E: beräkning af tillgodogjorda Kalorier i hydrocellulosa.*

Försöks-person	Kalorier						
	i födan			i tarmuttömningarna			i hydro-cellulosa
	grund-kost	rågmjöl	summa	beräk-nade	funna	differens	
8	6377	1000	7377	730	1357	627	648
10	6726	1147	7883	606	1301	695	748
16	6750	3171	9921	804	2961	2157	2066
Medeltal	6618	1773	8391	713	1873	1160	1152

Differensen mellan beräknad och funnen torrsubstans utgör i medeltal 272 g eller i procent af den förtärda hydrocellulosan 96.8. I de tre försöken hvart och ett för sig är denna differens i procent af hydrocellulosan resp. 96.8, 95.6 och 98.9.

Efter förbränningsvärdet uppgår skillnaden mellan beräknade och funna kalorier i tarmuttömningarna till 1160 Kal., motsvarande 100.7 procent af den förtärda hydrocellulosan; i de enskilda försöken är denna procent resp. 96.7, 93.7 och 104.4.

Qväfvebalansen gestaltar sig i denna serie på följande sätt (tabell 68).

Tab. 68. *Hydrocellulosaserie E; qväfvebalansen.*

Försöks-person	Qväfve; g			
	i födan	i faeces	i urinen	balans
8	49.5	8.0	37.6	+ 3.9
10	51.7	5.2	48.7	— 2.2
16	59.9	9.3	47.1	+ 3.5

Hos tvenne af försökspersonerna var qväfvebalansen positiv, hos den tredje negativ.

VI. **Sammanfattning.**

De ur dessa försöksserier i afseende å hydrocellulosans näringsvärde vunna resultaten äro sammanstälda i tabellerna 69 och 70, af hvilka den förra hänför sig till bestämningarna af växttråd enligt K ö n i g, den senare till den med ledning af normalserien utförda beräkningen öfver förlusten af torrsubstans i procent af den förtärda hydrocellulosan (se tabellerna 24, 38, 52, 66). För bättre öfversiktlighet äro decimalerna bortlemnade.

Tab. 69. *Förlust af växttråd.*

Försöks-person	Förlust af växttråd i procent af den förtärda				
	Normal-serie	Hydrocellu-losaserie A	Hydrocellu-losaserie C	Hydrocellu-losaserie D	Hydrocellu-losaserie E
1	69	61	74	—	—
2	68	—	99	99	—
3	82	73	93	—	—
4	72	84	—	98	—
5	58	—	86	—	—
6	—	—	68	—	—
7	93	75	64	—	—
8	69	89	93	—	110
9	72	—	85	103	—
10	57	—	77	—	78
11	—	85	—	—	—
12	—	51	—	—	—
13	77	75	—	—	—
14	—	—	—	94	—
15	—	—	—	93	—
16	—	—	—	—	97
17	53	—	—	—	—
Medeltal	69	75	82	97	95

Den ringa mängd växttråd, som förtärdes i normalserien — den utgjorde för tre dygn i medeltal endast 16 g med gränsvärdena 13 g och 19 g —, tillgodogjordes i tarmen med en förlust af endast 69 procent, gränsvärden 53 och 93 procent.

Den växttråd, som förtärdes i hydrocellulosaserien A, företedde i medeltal en förlust af 75 procent med gränsvärdena 51 och 89 procent. Den med födan upptagna växttrådens mängd var i medeltal 273 g, minimum 185, maximum 360. Något inflytande på den procentiska förlusten har mängden förtärd växttråd icke utöfvat, ty vi finna för 185—219 g i födan en förlust af 61—89 procent, för 252—319 g i födan en förlust af 51—85 procent och för 352—360 g i födan en förlust af 73—84 procent.

I hydrocellulosaserien C utgjorde förlusten af växttråd 64—99 procent, i medeltal 82 procent af den förtärda mängden. Icke heller här kan något otvetydigt inflytande af den tillförda mängden växttråd påvisas: vid 157 och 186 g växttråd i födan är förlusten 74—93 procent, vid 250—266 g är den 64—77 procent, vid 322—498 g 85—99 procent.

I hydrocellulosaserien D har förlusten af växttråd i medeltal stigit till 97 procent och varierar i de enskilda försöken mellan 93 och 103 procent.

Hydrocellulosaserien E ger ett medeltal om 95 procent för förlusten; i två fall är denna 97 resp. 110, i ett fall endast 78 procent. Något inflytande af den förtärda växttrådens mängd gör sig icke här gällande, ty tillförseln utgjorde vid en förlust om 110 procent 135 g, vid en om allenast 78 procent 110 g.

Tab. 70. *Beräknad förlust af torrsubstans i procent af den förtärda hydrocellulosan.*

Försöks-person	Förlust af torrsubstans i procent af den förtärda hydrocellulosan			
	Serie A	Serie C	Serie D	Serie E
1	64	92	—	—
2	—	84	105	—
3	71	84	—	—
4	93	—	98	—
5	—	86	—	—
6	—	74	—	—
7	72	56	—	—
8	87	79	—	96
9	—	88	104	—
10	—	76	—	96
11	87	—	—	—
12	67	—	—	—
13	88	—	—	—
14	—	—	76	—
15	—	—	95	—
16	—	—	—	99
Medeltal	79	81	98	97

Lika litet som i afseende å växttråden någon tydlig relation kan uppvisas mellan den förtärda mängden och den procentiska förlusten, är det möjligt att i afseende å beräknad förlust af hydrocellulosa finna någon sådan.

Deremot förefinnas i alla hydrocellulosaserierna utom serien E, som dock omfattar endast tre försöksindivider, icke så alldeles obetydliga individuela variationer, i serien A från 67 till 93 procent, i serien C från 56 till 92 procent och i serien D från 76 till 105 procent.

Orsaken härtill torde i väsentlig grad ligga i den omständigheten, att cellulosans förändring i tarmen, der en sådan förändring öfverhufvud förekommer, icke framkallas genom en enzymverkan, utan representerar en jäsningsprocess. Det förefaller oss nämligen att omfånget af denna process borde vara rätt nära beroende af mängden och framför allt af beskaffenheten af de i tarmkanalen förefintliga bakterierna, och att härvidlag afsevärda olikheter förekomma hos olika individer.

I regeln utgör emellertid den lösning af hydrocellulosans beståndsdelar, som i något större omfång eger rum, undantag, i det att en mindre förlust än 70 procent iakttagits endast i tre fall, och en mindre förlust än 80 procent endast i nio fall af samtliga 25 fall.

Af hydrocellulosaserierna D och E framgår med full tydlighet, att de i dem använda preparaten så godt som icke alls undergingo någon minskning i tarmkanalen och att således åt dem intet näringsvärde kan tillerkännas.

Deremot kunde man möjligen vara benägen att anse de i hydrocellulosaserierna A och C använda preparaten i viss mån egnade att begagnas såsom tillskott till födan, enär i försöken med dem torrsubstansen i tarmuttömningarna i jämförelse med förhållandet vid normalserien endast ökats med en mängd motsvarande i medeltal 79 till 81 procent af den förtärda hydrocellulosans torrsubstans. Af denna skulle således i rundt tal 20 procent hafva tillgodogjorts i tarmkanalen.

Mot detta resonnement kan emellertid invändas, att dessa 20 procent, som sålunda icke återfunnits i tarmuttöm-

ningarna, ingalunda representera den mängd af hydrocellulosan, som efter undergången förändring i tarmen upptagits till blodet, ty härvid måste ju också mängden af de vid cellulosa-jäsningen bildade gaserna beaktas.

Huru stor del af dessa 20 procent ifrågavarande gaser utgöra, derom kunna vi icke säga något bestämdt, men att en gasbildning af abnormt omfång försiggick framgår utan vidare deraf, att just i ifrågavarande serier försökspersonerna kände sig i hög grad besvärade af gasbildningen i tarmen.

Häraf följer, att den af kroppen verkligen tillgodogjorda mängden hydrocellulosa också i dessa serier A och C i medeltal måste hafva varit icke obetydligt mindre än 20 procent af den förtärda hydrocellulosan.

Tab. 71. *Qväfve och fett i tarmuttömningarna för tre dygn.*

Försöks-person	Qväfve; g					Fett; g				
	Normal-serie	Hydrocellulosa serie A	Hydrocellulosa serie C	Hydrocellulosa serie D	Hydrocellulosa serie E	Normal-serie	Hydrocellulosa serie A	Hydrocellulosa serie C	Hydrocellulosa serie D	Hydrocellulosa serie E
1	5.1	6.4	7.2	—	—	31	33	60	—	—
2	11.1	—	10.9	13.0	—	50	—	64	69	—
3	8.3	7.2	8.8	—	—	33	42	48	—	—
4	7.4	12.4	—	10.0	—	26	54	—	60	—
5	7.1	—	11.2	—	—	32	—	49	—	—
6	—	—	7.7	—	—	—	—	52	—	—
7	5.0	6.8	4.6	—	—	26	27	32	—	—
8	10.0	9.1	7.2	—	8.0	40	34	37	—	43
9	9.1	—	14.1	12.8	—	40	—	80	78	—
10	5.8	—	6.4	—	5.2	40	—	41	—	34
11	—	6.6	—	—	—	—	53	—	—	—
12	—	10.0	—	—	—	—	50	—	—	—
13	7.2	8.3	—	—	—	41	42	—	—	—
14	—	—	—	5.3	—	—	—	—	34	—
15	—	—	—	10.4	—	—	—	—	60	—
16	—	—	—	—	9.3	—	—	—	—	77
M:tal	7.6	8.3	8.7	10.3	7.5	34	42	51	60	51

Till allt detta kommer yttermera, att tillsatsen af hydrocellulosa till födan i viss grad nedsatte tillgodogörandet af födans andra beståndsdelar, hvilket tydligt framgår deraf, att den absoluta qväfvemängden i 17 och den absoluta fettmängden i 21 af sammanlagdt 25 hydrocellulosaförsök var något större, i vissa fall betydligt större än i normalserien (se tabell 71).

Ett uttryck härför är ock det förhållandet, att den kaloriska beräkningen af förlusten af hydrocellulosa ger något större tal än beräkningen af förlusten af torrsubstansen, nämligen i medeltal för serierna A, C, D och E resp. 81, 87, 114 och 116 procent.

Tab. 72. *Kaloritillförseln netto för dag.*

Försöks-person	Normal-serie	Hydrocel-lulosa-serie A	Hydrocel-lulosa-serie C	Hydrocel-lulosa-serie D	Hydrocel-lulosa-serie E
1	2421	2053	2071	—	—
2	3066	—	3019	2213	—
3	2962	2725	2782	—	—
4	2694	2618	—	2726	—
5	2984	—	2984	—	—
6	—	—	2371	—	—
7	2778	2537	2709	—	—
8	2484	2255	2186	—	2216
9	3103	—	3238	3075	—
10	2813	—	2629	—	2431
11	—	2456	—	—	—
12	—	2523	—	—	—
13	2723	2196	—	—	—
14	—	—	—	2435	—
15	—	—	—	2759	—
16	—	—	—	—	2989
Medeltal	2803	2429	2669	2641	2545

Anmärkas bör ock att digestionskanalens fyllnad med den stora mängden osmältbara ämnen gaf en känsla af

dästhet, som vållade att vederbörande, till och med då deras näringstillförsel var alldeles otillräcklig eller åtminstone rätt knapp, icke kände något behof af föda (jfr. tabell 72).

Såsom af tabellen framgår var medelvärdet för den resorberade födan i alla hydrocellulosaserierna mindre än i normalserien. Beträffande de enskilda försökspersonerna gäller detta för nr 1, 2, 3, 7, 8, 10 och 13, och äfven försökspersonen nr 6, som icke deltog i normalserien, hade en mycket liten näringstillförsel. Försökspersonerna nr 4, 5 och 9 hade ungefär lika stor nettotillförsel i normalserien och i hydrocellulosaserierna.

Af våra försök synes framgå, att nedbyggandet af hydrocellulosa i menniskans tarmkanal kan gestalta sig något olika för olika preparat, i det att preparaten A och C dock företedde något bättre resultat än preparaten D och E. Men icke heller dessa preparat A och C kunna göra anspråk på något värde såsom nödfödoämnen, ty den mängd närande beståndsdelar, som i dem kan komma kroppen till godo, uppgår i medeltal icke till 20 procent och är i verkligheten väsentligt mindre. Om således af ett dylikt preparat skulle förtäras 170 g om dagen, hvilket ju representerar en mycket stor mängd — af våra försökspersoner nåddes trots alla ansträngningar endast vid 3 försök en större mängd än denna, skulle detta motsvara en tillökning af den resorberade näringsmängden om i medeltal högst 34 g = 139 Kalorier. Skattas menniskans näringsbehof netto till endast 2400 Kalorier, skulle således i bästa fall blott 5.8 procent deraf kunna fyllas med hydrocellulosa, och då finge man på samma gång dragas med allt det obehag, som en öfverfyllnad af tarmen med allehanda osmältbara massor för med sig, något som i längden väl knappast kan fortfara utan att vålla afsevärda olägenheter.

Dessutom blefve ett sådant tillskott till födan mycket dyrt. Då 1 kg torr, för menniskan afsedd hydrocellulosa betingar ett pris af fmk 2: 50, skulle ett kg tillgodogjord cellulosa kosta icke mindre än fmk 12: 50, medan maximipriset för 1 kg rågmjöl utgör fmk 3: —.

Det föreligger således intet skäl att rekommendera något

af de hydrocellulosapreparat, vi undersökt, till användning såsom födoämne för menniskan.

Till Andelslaget Elanto och fröken A. Artukka, hvilka vid bakningen af de vid dessa försök begagnade brödsorterna på det mest förekommande sätt bistått oss, uttala vi vårt varma tack.

BIHANG I.

Beräkning af brödets sammansättning.

Hydrocellulosaserie A.

Brödet innehöll på torrsubstansen 46.0 procent cellulosa och 54.0 procent rågmjöl.

Med användning af de i bihang II meddelade analyserna gör detta på 100 g torrsubstans

	N; g		Växttråd; g	
	ur hydro-cellulosa	ur rågmjöl	ur hydro-cellulosa	ur rågmjöl
beräknadt	0	0.89	36.29	0.70
	0.89		36.99	
funnet	0.81		36.55	

Hydrocellulosaserie C.

Brödet innehöll på torrsubstansen 42 procent hydrocellulosa och 58 procent rågmjöl.

Med användning af de i bihang II meddelade analyserna gör detta på 100 g torrsubstans:

	N; g		Växttråd; g	
	ur hydro-cellulosa	ur rågmjöl	ur hydro-cellulosa	ur rågmjöl
beräknadt	0	1.05	34.0	1.2
	1.05		35.2	
funnet	1.05		34.0	

Hydrocellulosaserie D.

Brödet innehöll på torrsubstansen 40 procent hydrocellulosa och 60 procent rågmjöl.

Med användning af de i bihang II meddelade analyserna gör detta på 100 g torrsubstans

	N; g		Växttråd; g	
	ur hydrocellulosa	ur rågmjöl	ur hydrocellulosa	ur rågmjöl
beräknadt	0	1.09	31.4	0.8
	1.09		32.2	
funnet	1.07		28.3	

Hydrocellulosaserie E.

Brödet innehöll på torrsubstansen 40 procent hydrocellulosa och 60 procent rågmjöl.

Med användning af de i bihang II meddelade analyserna gör detta på 100 g torrsubstans

	N; g		Växttråd; g	
	ur hydrocellulosa	ur rågmjöl	ur hydrocellulosa	ur rågmjöl
beräknadt	0	1.09	32.4	0.8
	1.09		33.2	
funnet	1.03		29.8	

BIHANG II.

Analys af födoämnena.

Födoämnen	Torr-sub-stans %	N; %	Ägg-hvita %	Fett; %	Växt-tråd %	Öfriga kolhy-drat; %	Aska; %	Kalorier be-räknadt på 100 g;
Normalserien								
Ägg	27.1	2.13	13.3	11.6	—	1.2	1.0	167
Smör	86.3	0.02	0.1	82.9	—	0.4	2.9	773
Mjölk	12.5	0.48	3.0	3.8	—	5.0	0.7	68
Ost	66.0	5.10	31.9	26.1	—	2.6	5.4	384
Medwurst . . .	60.8	3.73	24.4	22.3	—	—	14.1	307
Socker	99.9	—	—	—	—	99.9	—	410
Blåbär (torkade) .	88.3	—	—	—	13.5	71.3	3.5	348
Bröd	89.9	1.15	7.2	2.0	1.6	75.7	3.4	365
Rågmjöl	86.0	1.13	7.1	1.8	1.6	73.9	1.6	356
Hydrocellulosaserien A								
Ägg	25.9	2.05	12.8	11.0	—	1.2	1.0	160
Smör	80.7	0.07	0.4	76.7	—	1.6	2.0	721
Mjölk	11.6	0.42	2.7	3.7	—	4.5	0.7	64
Ost	66.8	4.43	27.6	30.8	—	4.4	4.0	418
Anjovis	29.4	1.79	11.2	1.7	—	—	16.5	62
Socker	99.4	—	—	—	—	99.3	0.1	407
Blåbär (torkade) .	85.2	—	—	—	13.5[1])	69.4	2.3	340
Bröd . . . . : .	92.1	0.75	4.7	1.7	33.7	49.1	2.9	375
Rågmjöl	85.0	1.40	8.8	2.0	1.1	71.2	2.0	351
Hydrocel. massa .	30.4	—	—	0.3	24.0	4.7	0.2	118

[1]) Beräknad enligt analysen å torkade blåbär i normalserien.

Födoämnen	Torrsubstans %	N; %	Ägghvita %	Fett; %	Växttråd %	Öfriga kolhydrat %	Aska %	Kalorier beräknadt på 100 g:
Hydrocellulosaserien C								
Ägg	29.4	2.33	14.5	12.5	—	1.4	1.1	181
Smör	90.1	0.04	0.3	86.1	—	2.8	1.3	812
Mjölk	12.3	0.48	3.1	3.5	—	5.0	0.7	65
Ost	68.1	4.77	29.5	33.1	—	—	5.4	429
Anjovis	30.8	1.79	11.8	2.6	—	—	16.5	72
Socker	99.8	—	—	—	—	9.8	spår	409
Blåbär (torkade) .	85.2	—	—	—	13.5[1])	69.4	2.3	340
Bröd (syradt) . .	91.4	0.92	5.8	1.4	32.8	45.3	6.1	357
„ (osyradt) . .	91.3	0.96	6.0	1.5	29.2	50.3	4.3	365
Rågmjöl	88.2	1.59	9.9	2.1	1.8	72.6	1.9	365
Hydrocel. massa .	30.7	—	—	0.2	25.1	4.8	0.4	123
Hydrocellulosaserien D								
Ägg	29.4	2.31	14.4	16.2	—	1.3	1.1	181
Smör	85.9	0.06	0.4	83.3	—	0.2	1.9	777
Mjölk	12.3	0.47	2.9	3.6	—	5.0	0.8	66
Ost	62.7	5.47	34.2	19.5	—	3.2	5.9	334
Buljong[2])	4.1	0.19	1.3	0.3	—	—	2.6	8
Medwurst[3]) . . .	94.7	5.71	37.8	33.2	—	—	23.8	465
Socker	99.9	—	—	—	—	99.8	0.1	409
Blåbär (torkade) .	85.2	—	—	—	13.5[1])	69.4	2.3	340
Bröd	90.2	0.97	6.0	2.1	25.5	54.1	2.5	371
Rågmjöl	89.1	1.62	6.8	2.5	1.2	73.4	1.8	371
Hydrocellulosa . .	93.4	—	—	0.7	73.2	19.2	0.4	386
Hydrocellulosaserien E								
Bröd	90.5	0.93	5.8	2.11	27.0	54.1	2.5	372
Hydrocellulosa . .	92.8	—	—	0.8	75.1	16.8	0.2	384

Öfriga födoämnen i hydrocellulosaserien E voro desamma som i hydrocellulosaserien D.

[1]) Beräknad enligt analysen å torkade blåbär i normalserien.
[2]) På en buljongtärning.
[3]) Torkad på vattenbad.

Öfversigt af Finska Vetenskaps-Societetens Förhandlingar.
Bd. LXI. 1918—1919. Afd. A. N:o 4.

Einige Gesichtspunkte über die Ursachen der Menschwerdung.

Von

Dr. Einar Fieandt.

Die Menschwerdung ist als Endproblem der modernen Deszendenztheorie vielseitig behandelt worden. Von Darwin, Huxley und Haeckel bis zu Schwalbe und Klaatsch hat man sich fleissig bemüht die Ursachen der Menschwerdung zu ergründen. Besonders die äusserst interessanten paläanthropologischen Entdeckungen der neuesten Zeit haben für die Lösung dieser Frage unschätzbares Material geliefert, andererseits aber beginnt auch die vergleichende Rassenanatomie für die Beurteilung der Sache sich geltend zu machen. Wie wichtig und ausschlaggebend die oben erwähnten Wissenszweige auch für unser Problem sein mögen, so dürften folgende Gesichtspunkte aus dem Gebiete der vergleichenden Anatomie doch unserer Meinung nach etwas zu der Enträtselung der Frage beitragen, wie wir uns weiter unten ausführlicher zu zeigen erlauben.

Vor einigen Jahren unternahm ich eine Untersuchung über den Nervus hypoglossus und sein Verhältnis zu den vorderen Cervicalnerven. Da diese meine Arbeit die Lösung einer Spezialfrage der vergleichenden Anatomie bezweckte, verwertete ich gar nicht meine Ergebnisse für die Lösung des Menschwerdungsproblems. Da ich aber vor kurzem zufällig die nähere Bekanntschaft mit einer Arbeit von Prof. Dr. J. Baudouin de Courtenay, »*Ver-*

menschlichung der Sprache» machte, und darin von philologischer Seite einige bemerkenswerte Analogien zu meinen eigenen Erfahrungen fand, musterte ich mein eigenes Material mit Rücksicht auf einen anderen Gesichtspunkt durch, und fand dass die neuerzielten Gedankengänge neues Licht auf unser Problem werfen können.

Bevor wir unser eigenes Tatsachenmaterial kurz beleuchten, wollen wir einige Ansichten von Hermann Klaatsch erst näher ins Auge fassen. Dieser bekannte Anthropolog hat bei der Beurteilung der Abstammung des Menschen ein besonderes Gewicht auf die Ursprünglichkeit der Extremitätenform bei den Primaten gelegt. Zugleich zieht er daraus den Schluss, dass die Säugetiere von dem Menschenzweig abstammen und nicht umgekehrt. Obgleich wir nicht mit seiner Auffassung inbetreff der Deszendenz der Säugetiere einverstanden sein können (er lässt sogar die verschiedenen Menschenrassen, und aus diesen die verschiedenen Anthropoiden polyphlyletisch aus den Urpithecanthropi entstehen, und hat dazu diese seine Theorie im Lauf der Jahre vielfach modifiziert), müssen wir doch zugeben, dass der Extremitätentypus der Bimanen, Quadrumanen und Prosimier, also kurz der Primaten im Sinne Webers (1904), dem der mutmasslichen Ursäuger (etwa Chirotherium) näher steht als dem der übrigen Säugetiere. Wir müssen also mit anderen Worten zugeben, dass die Primaten ursprünglich gestaltete Extremitäten besitzen, während die übrigen Säugetiere in dieser Beziehung als vielfach spezialisiert erscheinen.

Die Ursäuger hatten höchstwahrscheinlich pentadactyle Extremitäten mit wohl entwickelten Daumenzehen, die schon auf dieser niedrigen Stufe eine grosse Selbständigkeit zeigten (Chirotheriumfährten). Schon bei den niedersten Säugetieren ging diese Eigenschaft durch frühzeitige Anpassung der Extremitäten verloren, so dass die sich früh abzweigenden Monotremen, Urraubtiere, Urhuftiere und Beuteltiere schon eine auffällig spezialisierte Extremitätenform hatten. Nur einige wenige von den rezenten Beuteltieren (Phalangeridae und Didelphyidae) zeigen die altererbte Eigenschaft einer opponierbaren Daumenzehe an ihrem Klet-

terfuss. Das Kletterleben scheint somit konservierend auf die Gestaltung der Extremität gewirkt zu haben, besitzen ja doch auch die Primaten als echte Baumbewohner ursprünglich gestaltete Hände und Füsse.

Obgleich wir dem oben angeführten zu folge bestätigen müssen, dass die Primaten in ihren Extremitäten eine uralte Eigenschaft bewahrt haben, betrachten wir sie doch als den Gipfel des Säugetierstammbaumes, weil sie doch als »Herrentiere» in erster Linie durch die gewaltige Entwicklung des Gehirns und der Intelligenz alle anderen Säugetiere überragen. Auch meine eigenen Erfahrungen in der Untersuchung über den N. hypoglossus und den Plexus hypoglosso-Cervicalis bei den Säugetieren stimmen schön mit dieser üblichen, und wie uns hier scheint mit Recht angenommenen Genealogie der Säugetiere und speziell der Primaten überein. Da diese Erfahrungen aber zu weiteren Schlussfolgerungen uns veranlassen, mögen sie hier kurze Erwähnung finden.

Schon Gegenbaur hat gezeigt wie die Zunge der Vertebraten in der Reihe: Fische, Amphibien, Reptilien, Vögel, Säugetiere immer reichlicher muskularisiert wird. Fürbringer konstatierte später durch seine Untersuchung über die Spino-occipitalen Nerven der Selachier und Holocephalen, dass der hintere Abschnitt des Vertebratenschädels und Nachhirns aus mit dem ursprünglichen Schädel verschmolzenen bzw. in die Medulla oblongata aufgenommenen spinalen (cervicalen) Sklerotomen bzw. Nerven entstanden ist. Dadurch stellte er fest, dass spinale (cervicale) Elemente ihren früheren Platz verliessen und oralwärts strömten um mit dem Kopf in Beziehung zu treten. Vor einigen Jahren gelang es schliesslich mir zu zeigen, dass diese oralwärts stattfindende Strömung auch bei den Säugetieren noch deutlich zu unterscheiden ist. Ich stellte erstens fest, dass der Säugetierhypoglossus aus vier verschmolzenen Cervicalnerven zusammengesetzt ist, dass aber sein Innervationsgebiet in den verschiedenen Säugetierordnungen sehr verschieden ausgedehnt ist: von den tiefer- zu den höher stehenden wird es sukzessiv immer schmäler. Zweitens wurde

festgestellt, dass während die Cervicalnerven bei den Sauriern keine Muskeln oralwärts vom Zungenbein versorgen (was als seltene Anomalie auch ab und zu bei den Säugetieren vorkommt), von den Monotremen bis zum Menschen immer zahlreichere Cervicalnerven ihre Fasern zur eigentlichen Zungenmuskulatur senden. Parallel mit dieser Erscheinung findet man, dass der N. hypoglossus bei den Sauriern und den meisten Säugetieren Fasern in die M. m. sternohyoidei und sternothyreoidei caudalwärts von der Raphe sendet, während genannter Nerv bei den Quadrumanen und Bimanen nicht mehr das Zungenbein caudalwärts überschreitet. Daraus wurde gefolgert, *dass spinale bzw. cervicale Elemente caudal vom Zungenbein diese Grenze überschritten um in die Zunge zu strömen und zugleich wurde festgestellt, dass diese Wanderung von den monotremen bis zu den Primaten etwa 8 Somiten umfasst, und dass sie noch nicht bei diesen ebengenannten Säugetieren zu Ende ist, sondern gegen Bolks Ansicht immer noch fortdauert, so dass dieses Vorrücken von den Prosimiern bis zum Menschen noch 3 Somiten beträgt.* Dadurch ist also bewiesen worden, dass Muskelelemente, die bei niederen Säugetieren weit caudal von dem Zungenbein, fast im Bereiche des Sternums gelegen sind, bei den höheren Säugetieren vor dem Zungenbeine ihren Sitz haben und sogar in die Zunge eingedrungen sind. Es ist also klar, dass *die Zunge durch die dauernde Muskelströmung in caudo-oraler Richtung in der Säugetierreihe sukzessiv immer leistungsfähiger wird.*

Oben wurde erwähnt, dass die Extremitäten der Primaten ursprünglich sind, und dass Klaatsch aus diesem Grund die Primaten für die ursprünglichste Säugetiergruppe hält. Zugleich wurde auch ersichtlich, dass diese Tiere dabei die am vielseitigsten muskularisierte, also ihrer anatomischen Zusammensetzung nach, die vollständigste Zunge besitzen. Andererseits wird aber die Primatenhand wegen ihrer Leistungsfähigkeit für sehr hochentwickelt angesehen obgleich ihre geringe anatomische Differenzierung gleichzeitig zugestanden werden muss. Wie diese Widersprüche zu verstehen sind, werden wir unten sehen.

Hier muss erstens darauf aufmerksam gemacht werden, dass die Greifhand der Primaten wohl als ein ursprüngliches, aber zugleich als ein äusserst leistungsfähiges Organ betrachtet werden muss. Obgleich wir dieses Gebilde unschwer direkt aus der Chirotheriumhand herleiten können, dürfen wir es keineswegs für ein unentwickeltes, minderwertiges Organ halten. Ganz im Gegenteil, die Primatenhand repräsentiert unter den Extremitätentypen was Leistungsfähigkeit und genaue anatomische Abwiegung betrifft bis in die feinsten Einzelheiten die aller höchste Stufe, wenn sie auch sonst in ihrer allgemeinen Organisation den alten Bauplan am treuesten beibehalten hat.

Andererseits haben wir zwar auch gezeigt, dass die Zunge der Primaten der Zusammensetzung nach als ein hochentwickeltes Organ angesehen werden muss. Denken wir aber an ihre Funktion, besonders bei den niederen Primaten, so müssen wir zugeben, dass sie verhältnismässig ursprünglich ist: weder differenziert noch sehr leistungsfähig; und würden wir sie näher mit der Zunge anderer Säugetiere vergleichen, so könnten wir sogar auf den Gedanken kommen, dass sie in Folge des Nichtgebrauchs einer Verkümmerung entgegengeht. Wir sehen aus allem diesen klar, dass wir es hier mit einem Problem zu thun haben, das wir aufklären müssen.

Um dies tun zu können müssen wir erst einen Blick auf die Extremitäten- und Zungenform der verschiedenen Säugetierrepräsentanten werfen, wobei wir in grösster Kürze nur konstatieren wollen, dass die Zunge und die Hand korrelativ mit einander verbunden sind.

Ornithorhynchus anatinus[1]) hat wohl entwickelte Schwimmfüsse und einen »Entenschnabel» mit Siebeinrichtung und steifer, ungelenkiger Zunge, die an einem ungegliederten Zungenbein befestigt ist. Zum »Gründeln» eignet sich diese Schnabeleinrichtung vorzüglich, die Eigenbewegung der Zunge ist aber gering. Noch sei an die *Fauce-Bildung* erinnert.

---

[1]) Vergl. Anm. 1, Seite 6!

Bei *Echidna aculeata*[1]) und den *Edentaten*, die *Faultiere* ausgenommen[2]), sind die Füsse zum Graben eingerichtet und die Zunge ist lang, dehnbar, weit ausstreckbar, wurmförmig und an einem gegliederten, gelenkigen Zungenbein befestigt.

Die *Beuteltiere* als Überbleibsel einer uralten, einst weitverbreiteten Tiergruppe zeichnen sich durch ihre Vielgestaltigkeit und ihre mannigfaltigen Anpassungserscheinungen besonders aus. Dem zufolge treten auch ihre Extremitäten in vielen verschiedenen Typen auf. Einige kletternde Repräsentanten: die der Familien *Phalangeridae* und *Didelphyidae* besitzen eine Hand mit *opponierbarem* Daumen, was wir erstens vielleicht als eine Hindeutung auf die Richtigkeit der Ansicht, dass die Primatenhand tief wurzelt, zu halten berechtigt sind; zweitens macht dieser Tatbestand die von uns schon früher ausgesprochene Ansicht, dass das Kletterleben geeignet sei, die Ursprünglichkeit des Extremitätentypus beizubehalten, noch glaubhafter. Sonst kommen bei den Beuteltieren Lauf-, Spring- und Grabfüsse vor. Von diesen wollen wir nur den Springfuss betrachten. Bei den Springbeutlern sind die hinteren Extremitäten gewaltig entwickelt und vierzehig: 2 grosse, gut entwickelte (IV und V) und 2 kleine, verkümmerte und verwachsene (II und III). Die vorderen Extremitäten sind dagegen zwar 5-zehig, aber verkürzt, schwach und wenig leistungsfähig. Zugleich kommen bei diesen Tieren Vorrichtungen vor, durch welche ein Abbeissen der Pflanzen durch die gegen einander wirkenden einzigen, mittleren Schneidezähne des Unterkiefers möglich wird. Für das Kaugeschäft kommen dadurch ihm sonst ganz fremde Muskeln zur Verwendung, nämlich Abkömmlinge der M. mylohyoideus Gruppe. Im Ganzen scheint die

---

[1]) Das als eigentliche Zunge fungierende Organ bei Ornithorhynchus und Echidna entspricht bekanntlich nach Gegehbaurs Auffassung nicht der Zunge der anderen Säugetiere sondern nur der sog. Unterzunge. Weil wir aber jetzt nur die aus der Funktion resultierende Gestaltung berücksichtigen, wirkt dies nicht auf unsere weitere Schlussfolgerungen.

[2]) Diese haben sehr spezialisierte Hängefüsse. Nach dem Zungenbein zu schliessen ist die Zungenmuskulatur auch sehr umgeändert.

Zunge der Beuteltiere verhältnismässig wenig leistungsfähig in ihrer Eigenbewegung zu sein. Das schliessen wir daraus, dass das Zungenbein — besonders die vorderen Hörner — verkümmert und sekundär weit hinter der gewöhnlichen Anheftungsstelle mit dem Schädel ligamentös verbunden ist. Ferner sind die von dem Zungenbein zum Schädel ziehenden Muskeln dem entsprechend verkümmert und verlagert.

Bei den *Waltieren* sind die hinteren Extremitäten ganz verschwunden, die vorderen zu »Flossen» verwandelt, die nur einer Rudertätigkeit mächtig sind. Die sehr verlängerte Schnauze erscheint in den beiden Familien: *Zahn-* und *Bartenwalen* als ein mächtiges Fangorgan, bei jenen beim Greifen der grossen und schnellschwimmenden Beutetiere, bei diesen wieder beim Schöpfen und Sieben der kleinen Oberflächenorganismen. Beiderseits wirkt die Einrichtung gewaltig umändernd auf die Gestaltung und Tätigkeit der Zunge, zumal auch die eigentümliche Athmungsweise eine Verlagerung des Kehlkopfes zu Stande gebracht hat. Die Zunge ist zu folge der fixierten Lage des Kehlkopfes und Zungenbeins ungelenkig und wenig beweglich. Eine so weit gehende Spezialisierung dieser Organe sehen wir noch nicht bei den sonst den Waltieren ähnlichen *Seekühen*.

Die *Ungulaten* besitzen entweder Klauen oder Hufe, die hauptsächlich nur zur Fortbewegung dienen, niemals aber beim Greifen behilflich sein können, dazu dienen nur die Mundwerkzeuge: die Lippen, die Kiefer und die Zunge. Diese ist kräftig und vorstreckbar meistens an einem festen Zungenbeingerüst befestigt, welches bisweilen einen langen, weit in die Zunge hineinragenden Zapfen (Processus lingualis des Zungenbeinkörpers beim Pferd) trägt. Der freie Teil der Zunge vermag sichelförmig das Gras zu umfassen und in den Mund zu bringen, oder die Haut zu belecken. Wo die Zunge weniger vorstreckbar, ein Fassen deshalb unmöglich ist, dienen die Lippen zum Abrupfen des Grases, oder aber ist die Schnauze rüsselartig zum Wühlen eingerichtet [1]).

[1]) Wie weit die korrelative Verknüpfung zwischen Rüssel und Vorderfuss gehen kann, sehen wir beim Elefanten: Pfahlfüsse und bis zum Boden reichender Rüssel mit Fingerfortsatz.

Die Extremitäten der *Nagetiere* sind sehr vielgestaltet entsprechend der sehr mannigfaltigen Lebensweise dieser Tiere. Die grössten Unterschiede treffen wir aber an den Hinterfüssen, während wieder die vorderfüsse oft verhältnismässig ursprünglich gestaltet sind; ja das Eichhörnchen hat sogar einen *entgegenstellbaren* Daumen. Dies steht in Harmonie mit seiner Lebensweise und mit seiner Gewohnheit die Nahrung beim Essen mit den Vorderfüssen festzuhalten. Übrigens können wir hier wieder feststellen, dass die kletternden Formen ihre Extremitäten am ursprünglichsten beibehalten haben. Wichtig ist jedoch zu bemerken, dass der Daumen bei allen Formen (auch das Eichhörnchen mitgerechnet) einer Rückbildung unterliegt. Die eigentümliche Gestaltung der Mundwerkzeuge steht in Zusammenhang mit der für die Nagetiere charakteristischen Art der Nahrungsaufnahme. Die Form des Unterkiefers gestattet keine grosse Entfaltung der Mm. geniohyoidei und genioglossi, auch sind die von dem Zungenbein und von der Zunge zum Schädel ziehenden Muskeln schwach entwickelt. In Zusammenhang mit diesem ist das Vorderhorn des Zungenbeins meistens verkümmert und seine Anheftung am Schädel, wenn vorhanden, verlagert. Ziehen wir noch in Betracht, dass ein Muskel aus der Mylohyoideus-Gruppe zur Bewegung (medialwürts) der locker mit einander verbundenen Unterkieferäste in Anspruch genommen ist (vergl. die Beuteltiere), so verstehen wir, dass die vielseitige Entwicklung und Beweglichkeit nicht allzu gross sein kann.

Die Repräsentanten der Ordnung *Pinnipedia* sind echte Wasserraubtiere, deren Extremitäten zu »Flossen» umgewandelt, und also zum Greifen und Festhalten der Beute ganz unbrauchbar sind, was aber durch die mit gleichförmig gestalteten spitzen Zähnen bewaffneten Kiefer ausgeführt wird. Keine Zerkleinerung der Nahrung kommt in der Regel vor. Die Beute wird gefangen und vermittels der scharfen Zähne festgehalten, durchlöchert und getötet, schliesslich unzerkaut verschlungen. Die entsprechenden Muskeln sind dem zufolge für eine spezialisierte Schlingtätigkeit eingerichtet, was auf-

fallend deutlich an dem sehr kräftigen, mit gewaltigen Muskelansatzstellen versehenen Zungenbein zu sehen ist.

Alle *Carnivoren* können ihre Extremitäten zur Fortbewegung auf der Erde gebrauchen, dazu können sie aber noch diese in Zpezialfällen beim Klettern, Schwimmen und Graben benutzen. Dem entsprechend zeigen sich die Füsse der Raubtiere ebenso vielgestaltet wie etwa bei den Nagetieren. Das Greifvermögen der Vorderfüsse fehlt, oder ist nur sehr wenig entwickelt (bei der Katze) und kommt dann immer zu Stande durch die scharfen zurückziebaren Krallen; dabei ist die Beweglgkeit der Zehen gering. Einen opponierbaren Daumen besitz keiner, und das Klettern geschieht mit Hilfe der Krallen. Dem entsprechend ist die Entwicklung der Mundwerkzeuge auch eine verschiedene. Bei denen, die echte Lauffüsse haben, ist die Schnauze lang, bei denen mit Kletterfüssen kurz. Die Zunge ist sehr beweglich, vorstreckbar. Zum Leckorgan eignet sie sich gut, in dem ihre freie Spitze löffelförmig geformt werden kann. Zur Stütze derselben dient ein eigentümliches Organ die s. g. Lyssa, ein walzenförmiges, bindegewebiges Gebilde zwischen den beiden Mm. genioglossi, welches einem processus lingualis des Zungenbeinkörpers entsprechen soll.

Bei den *Insectivoren* sind die diesbezüglichen Verhältnisse in grossen Zügen einerseits wie bei den Carnivoren, andererseits aber wie bei den Nagetieren. In der Regel sind die Extremitäten 5-zehige Lauffüsse (Maulwurf: Grabfüsse, Cladobates: Greiffuss wie beim Eichhörnchen). Die Mundwerkzeuge dienen beim Greifen der Beute. Der Unterkiefer ist zwar oft etwas verkürzt — weil eine Rüsselbildung, die zur Orientierung dient, allgemein vorkommt — was aber das Greifen nicht beeinträchtigt, weil die unteren Schneidezähne sehr lang und gerade nach vorn gerichtet sind, den verkürzten Unterkiefer auf diese Weise ergänzend.

Die *Fledermäuse* haben als fliegende Tiere höchst spezialisierte Extremitäten, die ausser dem Fliegen nur eine schwerfällige Vorwärtsbewegung, oder ein langsames Klettern gestatten. Die Mundwerkzeuge dienen also allein als Greiforgane. Das Greifen der Beute geschieht im Fluge, das

Maul ist dem zufolge sehr weit und die Zungenmuskulatur hat genügend Platz (nicht wie bei den Nagetieren). Dennoch scheint diese Muskulatur wenig ursprünglich zu sein, wenn man nach dem Zungenbein schliessen darf. Dieses ist nämlich sehr reduziert: bei unseren nordischen Vertretern kommt im Vorderhorn nur ein einziges Glied vor, auch der Zungenbeinkörper ist eigentümlich mit seinen zwei zapfenförmigen aboralen Fortsätzen.

Aus dem oben angeführten ersehen wir, dass nur bei wenigen Säugetiervertretern die Extremitäten ihre ursprüngliche Form beibehalten haben. Meistens erscheinen diese sehr differenziert, entweder in ihren verschiedenen Teilen rückgebildet oder durch progressive Entwicklung ungebildet. Die Ursache ist in der durch veränderte Lebensgewohnheiten bedingten Anpassung zur Spezialtätigkeit der Extremitäten zu finden. Zugleich sehen wir aber, dass auch die Mundwerkzeuge, besonders die Zunge einer entsprechenden Umwandlung unterliegt. In den meisten Fällen kann man unschwer einen Zusammenhang in der Neugestaltung dieser beiden Organsysteme konstatieren. Wir sind somit berechtigt von einer Korrelation zwischen den Vorderextremitäten und den Mundwerkzeugen zu sprechen. Beide sind potenzial befähigt bei dem Nahrungserwerb beteiligt zu sein. Geht dieses Vermögen dem einen System durch Spezialisierung verloren, so wird dieser Verlust durch eine entsprechende Veränderung des anderen Systems kompensiert. Wir finden also, dass je grösser die Umgestaltung der Vorderextremitäten ist, etwa zu Gunsten einer extremen Locomotionsform, um so viel intensiver beteiligen sich die Mundwerkzeuge am Nahrungserwerb und um so viel spezialisierter erscheinen sie in Form und Gestaltung. Wie gross diese Korrelation sein kann, das haben wir an den von uns weiter oben angeführten beispielen (etwa Ornithorhynchus: Schwimmfüsse, Entenschnabel; Echidna, Dasypus, Manis, Myrmecophaga, Orycteropus: Grabfüsse, Wurmzunge; Rind: Klaue, Sichelzunge auf steifem Zungenbeingerüst; Hund: Laufpfote, Leckzunge mit »Lyssa» u. v. a.) gesehen.

Betrachten wir die Primatenreihe incl. den Menschen unter denselben Gesichtspunkten wie die übrigen Säugetiere, so finden wir, dass jene in einem bemerkenswerten Gegensatz zu diesen stehen. Bei den niederen Säugetieren konstatierten wir in allen Ordnungen eine mehr oder wenig deutliche Spezialisierung derjenigen Organe, die mit dem Nahrungserwerb und der Locomotion zu tun haben. In der Primatenreihe ist dagegen von einer solchen Spezialisierung sehr wenig zu spüren, ja von der Menschenreihe können wir behaupten, dass sowohl die Mundwerkzeuge als die Vorderextremitäten eine sehr grosse Ursprünglichkeit aufweisen. In dem ungeteilten Primatenstamm entwickelte sich die Hand zunächst durch anhaltendes Baumleben zu einem geschickten Kletter- und Greiforgan, unterdessen wurde die Zunge durch die von hinten stattfindende Zuströmung der branchialen, cervicalen und thoracalen Muskelelemente immer reichhaltiger muskularisiert und immer leistungsfähiger. Weder das eine noch das andere Organsystem unterlag aber einer Spezialisierung. Es fand keine Anpassung an besondere Tätigkeiten statt, die eine neuenstandene Locomotion, einen umgeänderten Nahrungserwerb oder eine neuerworbene Fressfunktion bezweckt hätte. Die betreffenden Organe blieben so zu sagen einfach für künftige, viel wichtigere Tätigkeiten als solche aufbewahrt, in dem sie aus der allgemeinen Anpassung ausgeschaltet waren.

Auf dem Affenstadium angelangt differenzierten sich die Primaten. Es entstanden der zu den Affen führende und der Menschenzweig. Dass diese Zwiespaltung verhältnismässig tief wurzelt wird dadurch ersichtlich, dass nicht einmal die Anthropoiden die ursprüngliche Handform beibehalten haben indem ihr Daumen deutlich rückgebildet ist, was durch den Vergleich einerseits mit den Halbaffen, andererseits mit dem Menschen klar bewiesen wird. Wenn man sich vergegenwärtigt, wie der Affe seine Hand als Klammer- und Kletterorgan gebraucht, dass bei ihm die verlängerten Phalangen und die Metacarpalknochen von grösster Bedeutung sind aber nicht so sehr der verkürzte Daumen (ganz anders bei menschlichen Reck-oder Trapezkünstlern), so können wir

sagen dass die Affenhand ein »überentwickeltes» Kletterorgan darstellt, welches eines Teils seiner früheren Greiffunktion verlustig gegangen ist. Ob hiermit z. B. die wasserschöpfende Schaufellippe des Orang-Utans in Zusammenhang gebracht werden kann, lassen wir unentschieden.

Der andere Zweig, die Menschenreihe, geht einer anderen Entwicklung entgegen. Das ausschliessliche Baumleben wird aufgegeben, dadurch kommt der bei den Affen nur andeutungsweise vorkommende aufrechte Gang zu Stande. Durch diese Körperstellung wird die Hand von der einseitigen Kletterfunktion befreit, wird Tast- und Greiforgan, also Hand in eigentlicher Bedeutung des Wortes. Gleichzeitig verliert der Kopf die letzte Möglichkeit sich am Greifen und vielleicht auch an der Riechtätigkeit zu beteiligen, und wird durch die freistehenden Augen und seine dominierende Beziehung zum übrigen Körper ein Hauptorientierungsorgan und zugleich der Träger des sich jetzt zum Teil eben dadurch gewaltig entwickelnden Grosshirns.

Wir haben also gesehen, dass die Hand der Primaten und insbesondere die der Menschenreihe ihre Ursprünglichkeit durch die konservierende, nicht allzu einseitige Kletter- und Greiffunktion beibehalten hat. Wenn wir aber anatomisch — was natürlich nicht hier ausgeführt werden kann — die Vorderextremitäten sämtlicher Säugetiere unter einander vergleichen, finden wir, dass die Hand des Menschen derjenigen aller anderen Säugetiere überlegen ist. Dass sie also im Bau ursprünglich ist, hängt nicht von einer tieferen Organisationsstufe, sondern von ihrer allseitigen Funktionsfähigkeit ab. Wir sind deswegen nicht berechtigt eine extreme Spezialisierung, die ihrer Funktion nach nur auf Einseitigkeit hindeutet, als Kriterium der Organisationshöhe aufzustellen. Dasselbe gilt von der Zunge in der Menschenreihe. Es ist wahr, dass dieselbe in bezug auf Kraftentfaltung weniger leistet als die Wurmzunge der Echidna oder etwa die Sichelzunge des Rindes. Wir haben aber gesehen, dass die menschliche Zunge anatomisch etwas viel bedeutenderes ist als die der niederen Säugetiere, mögen diese in ihrer Spezialtätigkeit noch so geschickt sein, denn dies ist ja wie

gesagt nicht bei der Beurteilung der Organisationshöhe eines Organs ausschlaggebend. Wir werden aber weiter unten noch erfahren, dass die Menschliche Zunge auch funktionell allen anderen Zungenformen überlegen ist. Wir ersehen hieraus wie die Ursprünglichkeit der Primatenextremität und ihre hohe Leistungsfähigkeit, die reiche Muskularisierung der Zunge und ihre geringe Kraftleistung zu deuten sind, und haben somit die scheinbare Kontroverse, von der oben die Rede war, klargelegt.

Es bleibt uns jetzt übrig unsere Ergebnisse für das Menschwerdungsproblem zu verwerten. Wir haben oben nur zwei Organsysteme erwähnt, nämlich die Hand und die Mundwerkzeuge bzw. die Zunge; wir werden aber weiter unten sehen, dass eben diese die allerwichtigsten Faktoren bei der Menschwerdung gewesen sind. Es ist ja einleuchtend, dass, wo die Vorderextremitäten sich zu Grab-, Lauf- oder Schwimmfüssen bzw. Klauen, Hufen, Tatzen u. s. w. entwickelten die Zunge und die übrigen Mundwerkzeuge (Mund, Lippen, Kehlkopf, Rachen, Schnauze, Rüssel u. s. w.) die Aufgabe der Nahrungsaufnahme übernehmen und sich ihr anpassen mussten. Gleichzeitig mit dieser Umbildung beider korrelativ verbundenen Organkomplexe verlor der Körper die Möglichkeit einerseits die Hand zu einem geschickten, vielseitig wirksamen Greif- und Tastorgan zu differenzieren, andererseits eine beim Sprechen tätige Zunge auszubilden. Es ist jetzt klar, von welcher Bedeutung es ist, dass die »Ursprünglichkeit» d. i. das *»Nicht zu besonderen, speciellen Tätigkeiten angepasst sein»* der Primatenhände und Zunge parallel erscheint. *Wir verstehen, dass die Koordinierung der beiden genannten Organreihen eine conditio sine qua non für die Entstehung der Gattung Homo ist. Nur neben einer geschickten, nicht zu sehr spezialisierten Greifhand, konnte sich eine Zunge entwickeln, die sich bei der Lautierung beteiligen konnte. Andererseits war die Entstehung einer so vielseitig beweglichen Zunge nur in der Primatenreihe möglich, wo die von hinten in die Zunge stattfindende Zuströmung neuer Muskelelemente ihr Maximum erreicht hatte.*

Die Menschwerdung geschah in groben Zügen der oben wiedergegebenen Auffassung gemäss etwa folgender Weise. In der menschlichen Hand sehen wir wie schon öfters angegeben wurde, ein phylogenetisch sehr altes Erbstück von weit entfernten Vorfahren: sie fand sich nämlich schon bei den Urreptilien angedeutet. (Klaatsch). Wir können aber die Bedingung für die Entstehung einer bei der Lauterzeugung beteiligten Zunge noch viel weiter nach unten verfolgen. Die schon oft erwähnte oralwärts stattfindende Strömung von Muskel-, Nerven- und Skeletelementen ist nämlich noch viel höheren Alters. Sie fängt schon bei den niedrigsten Vertebraten an um erst beim Menschen zu aktueller Bedeutung zu gelangen. Ihre erste Ursache ist in der Zentralisation des vorderen Medullarabschnittes, also des künftigen Gehirnteiles zu suchen. Einen zweiten gewaltigen Stoss in derselben Richtung erfährt das System durch die Verkümmerung der Visceralbögen, wodurch ein leerer Raum im ventralen Kopfteil der luftatmenden Vertebraten entsteht, was wieder das Vorrücken der kräftigeren spinalen Elemente, die das verkümmernde Branchialgebiet in der Richtung des geringsten Widerstandes überwältigen und immer neue Provinzen in dem rostralen Gebiet gewinnen, zustande bringt. Auf diese Weise wird die Zunge je höhere Formen wir in der Vertebratenreihe betrachten immer vielseitiger muskularisiert. Diese Bereicherung mit thorakalen und spinalen Muskelelementen kann nur eine erhöhte Leistungsfähigkeit der Zunge bewirken. Wird die Zunge aber für Ernährungszwecke in Anspruch genommen, spezialisiert sie sich und ihre Funktion wird auf eine Einzeltätigkeit einseitig eingestellt, was dann geschieht, wenn die Extremitäten das Greifgeschäft aufgeben und ihrerseits für andere Geschäfte angepasst werden.

Die Hauptursachen der Menschwerdung wurzelt also sehr tief. Obgleich die menschliche Zunge in nuce schon bei den niedrigsten Vertebraten zu treffen ist, müssen wir doch die Entwicklung der Hand als die erste Bedingung für die Menschwerdung halten. Denn nur die vielseitig tätige Hand bewahrt die Zunge vor Spezialisierung, ist aber dabei nicht

nur indirekt sondern auch direkt äusserst wichtig für die Entstehung des speziell Menschlichen in der zur Gattung Homo führenden Formenreihe. Die Anfangsentwicklung des Urmenschen fusst nämlich grösstenteils auf der Vielseitigkeit seiner Hand. Von unserem Standpunkt betrachtet könnten wir uns die Menschwerdung folgenderweise vorstellen. Nachdem das ausschliessliche Baumleben aufgegeben ist, wird die Hand frei und wirkt dadurch als ein weiterer Factor bei der Entwicklung einer ausgedehnteren Raumvorstellung (durch Tasten, Hand incl. Auge: perspektivische Raumvorstellung, nicht zu verwechseln mit Raumvorst, der Lage: durch das Labyrintorgan) bzw. Beförderung einer gewaltigen Entfaltung des Gehirns. Die Orientierung vermittels der Schnauze fällt grösstenteils weg: (das Geruchsorgan wird rückgebildet zu Gunsten der Hand) der Urmensch lernt die Umwelt durch die Greifhand *begreifen.* Weiter geschicht parallel mit dieser Entwicklung die Bewältigung der Umgebung. Die Waffe wird durch die Hand geschaffen, die guten und zweckmässigen natürlichen Waffen der Tiere werden durch Steine, Holzstücke und derg. nachgeahmt. Der Mensch hat nämlich keine natürlichen Waffen. Durch diese Entdeckung der Organprojektion (Driesmans), wodurch der geschleuderte Stein die Länge des Armes um das Zehnfache vergrössert und die Steinscherbe die scharfen Zähne und Krallen der Tiere ersetzt, fängt der Urmensch an durch seine Hand die Natur zu *behandeln* und zu *handhaben.* Während die Entwicklung so allmählich fortschreitet »wartet» die Zunge noch auf ihre künftige Funktion, nur die Atemwerkzeuge »lernen» nach und nach ein ursprüngliches Lautieren hervorbringen bis sie endlich auch die Zunge in die Phonierung mitziehen. Jetzt kommt die vielseitige Beweglichkeit, geschickte und gelenkige Biegsamkeit der Zunge zu ihrem Recht, denn aus der ursprünglichen Interjektionssprache entwickelt sich allmählig die sinngemässe, komplizierte Sprache, die so charakteristisch für den Menschen ist, und welche einen äusserst feinen Zungenmechanismus voraussetzt.

Anatomisch hängt also die Menschwerdung von der Entstehung einer geschickten, vielseitig brauchbaren, feintasten-

den, nicht auf einseitige Tätigkeit eingerichteten Greifhand und einer vielseitig muskularisierten, innerhalb der Mundhöhle frei beweglichen, für keine ihr ursprünglich fremde Tätigkeit aptierten Zunge ab. Weil diese genannten Organsysteme durch einander bedingt und korrelativ mit einander verbunden sind, konnten nur diejenigen Säugetiere, die eben diese vorteilhafte Verknüpfung besassen die Menschwerdung durchmachen und sich aus der tierischen Instinkt-Finsternis in das menschliche Vernunfts-Licht erheben.

Wenden wir uns nun zu der philologischen Seite unserer Frage. Professor Baudouin de Courtenay untersucht in seiner früher erwähnten Schrift, wie die menschliche Sprache aus dem tierischen Zustande sich entwickelt haben mag. Er zeigt, »*dass die Arbeit bei tierischer Lautbewegung sich in den unteren und rückwärtsliegenden Gebieten der Sprechorgane konzentriert. Beim Menschen aber arbeiten vorwiegend die oberen und vorderen Teile des Sprechaparats*», (Seite 10). Und die Fragestellung seiner Untersuchung lautet sodann: »*Wenn es uns also gelingt, auch in der historischen, d. h. uns aus der Überlieferung bekannten Zeit eine Abnahme der Arbeit in unteren und hinteren Gebieten, und dem entsprechend eine Zunahme der Tätigkeit in den oberen und vorderen Gebieten, also eine immer grössere Entfernung von dem tierischen Zustande, nachzuweisen, dann werden wir berechtigt sein zu sagen:*

Das menschliche Geschlecht begnügte sich nicht mit jenem ersten, oben vorausgesetzten, ursprünglichen Schritt, sondern es zeigt auch einen nie aufhörenden Fortschritt in der allmählichen, stufenweisen Vermenschlichung der äusseren, lautlichen Seite der Sprache». (Seite 10).

Etwas weiter sagt der Verfasser: »*Nachdem wir so dieses Bedenken*[1]) *gehoben haben, fangen wir nun mit dem Gegensatze der Tätigkeit des Kehlkopfes und der Mundhöhle an, und da müssen wir denn sagen, dass sich überall die Abnahme jener zu Gunsten dieser mit Entschiedenheit beobachten lässt,*

[1]) Das jenige über die Unsicherheit der Aussprache in längst vergangenen Zeiten. (E. F.).

sei es nun blosser Schwund der Kehlkopftätigkeit, sei es wieder eine Vertretung früherer Kehlkopfarbeit durch solche der Mundhöhle.

Eine allgemeine in diesen Bereich gehörende Tatsache ist das gänzliche oder teilweise Aufgehen der ursprünglichen Aspiraten in allen indogermanischen oder arioeuropäischen Sprachen. Der Unterschied der Aspiration und Nichtaspiration hängt bekanntlich von einer Verschiedenartigheit in der Tätigkeit des Kehlkopfes ab: Die Aspiraten ph, th, kh, bh, dh, gh, ..., *werden mit einem im Kehlkopfe entstehenden Hauch, in der Art von h, zusammen ausgesprochen, die unaspirierten Konsonanten, p, t, k, b, d, g,* ...., *ohne einen solchen. Nun sehen wir, dass die alten arioäuropeischen Aspiraten bei allen späteren Arioeuropäern oder Indogermanen eine bedeutende Einschränkung erfahren».*

»Entweder ist die alte Aspiration spurlos verschwunden», ... (in Slavischen, Litauischen, Lettischen, Keltischen und Iranischen).

»In anderen Sprachfamilien des arioeuropäischen Stammes wird zwar der alte Unterschied der betreffenden Konsonanten in seinem vollen Umfange bewahrt, seine unterscheidenden Merkmale aber aus dem Kehlkopfe in die Mundhöhle verlegt». (Die germanische Sprachfamilie) ....

»Das Altgriechische besass noch die Aspiraten im Unterschiede von den Nichtaspiraten, im Neugriehischen aber ist an die Stelle der durch den Kehlkopf zu bewerkstelligenden Unterscheidung zwischen der Aspirierung und Nichtaspirierung die in der Mundhöhle zur Geltung gelangende Unterscheidung zwischen einem Verschlusse und einer Reibungsspalte getreten».

»Überall also sehen wir im Bereiche der Unterscheidung zwischen der Aspiration und Nichtaspiration eine allmähliche Schwächung der Kehlkopftätigkeit zu Gunsten der Tätigkeit einzelner Sprechorgane in der Mundhöhle, und dementsprechend auch die Schwächung des auf die Kehlkopftätigkeit gerichteten zentralsprachlichen Unterscheidungsvermögens». (Seite 12—14).

»Nachdem wir die historische Verschiebung innerhalb der beiden Hauptgebiete der Sprechwerkstatt in ganz kurzen Zügen

kennen gelernt haben, wollen wir die Mundhöhle selbst von der uns hier interessierenden Seite untersuchen.

Hier führt uns eine genaue Betrachtung der historischen Tatsachen zu einem ähnlichen Ergebnis, wie bei der Erforschung des Verhältnisses des Kehlkopfes und der Mundhöhle im allgemeinen. Nur geht hier, in der Mundhöhle, die historische Bewegung bei den lautlichen Veränderungen ausschliesslich von hinten nach vorn, während wir dort eine kompliziertere Richtung, von unten und hinten nach oben und vorn wahrgenommen haben.

Wenn die auf die paläontologischen Entdeckungen gestützten Schlüsse richtig sind, besass der vorgeschichtliche Höhlenmensch keinen Kinnvorsprung d. h. kein »mentales Tuberkel» (tuberculum mentale) und im Zusammenhange damit befand sich seine spina mentalis interior[1]*) soweit nach hinten zurück, das die an dieselben angehefteten, die Bewegungen der Zunge, vor allem aber der vorderen Zunge regulierenden Muskeln, in erster Reihe der musculus genioglossus, verhältnismässig kurz und unentwickelt waren; infolge dessen vermochte bei diesem vorgeschichtlichen Höhlenmenschen seine vordere Zunge selbst sich nur mangelhaft zu bewegen*[2]*). Unter solchen Umständen konnte damals von einer starken Beteiligung der Vorderzunge beim Lautieren keine Rede sein.*

Damit stimmt auch die Beobachtung überein, dass je mehr wir in der Sprachengeschichte zurückdringen, desto häufiger und energischer finden wir die Tätigkeit der hinteren Organe und Organteile der Mundhöhle, vorzugsweise der Hinterzunge, während man später umgekehrt eine immer stärkere Zunahme der Arbeit der Vorderzunge bemerkt.

Man kann eine Masse lautgeschichtlicher Tatsachen anführen, welche sich unter den Begriff einer Verschiebung von hinten nach vorn in der Mundhöhle selbst stellen lassen. Ich will mich aber nur auf die dahin gehörenden Veränderungen einiger Konsonantenreihen beschränken». (Seite 14—16).

Jetzt folgt eine kurze Zusammenfassung der diesbezüg-

---

[1]) Wohl inferior (E. F.).

[2]) Fussnote mit Angaben paläanthropologischer Litteratur (E. F.).

lichen Konsonantveränderungen in den Indogermanischen Sprachen, was alles zu folgenden Ergebnissen führt:

»So haben uns die oben erwähnten, meistenteils der Lautgeschichte der ariocuropäischen oder indogermanischen Sprachen entnommenen Tatsachen gezeigt, dass in dem historischen Leben dieser Sprachen der unaufhaltsame Drang waltet, die Sprecharbeit von unten und hinten möglichst nach oben und vorn allmählich zu verlegen. Ich bin überzeugt, dass man durch die Erforschung der Geschichte anderer Sprachstämme zu demselben Schlusse gelangen würde. Vorübergehend möchte ich nur erwähnen, dass man auch in den semitischen Sprachen einen allmählichen Schwund und eine allmähliche Schwächung von »Gutturalen» konstatiert, wobei man unter dem unbestimmten Namen der »Gutturalen» alle die Laute zusammenfasst, welche durch eine Tätigkeit entweder des Kehlkopfes oder der Hinterzunge samt dem Gaumensegel hervorgebracht werden.

In dieser Überführung der Sprechtätigkeit aus den tiefen und versteckten Regionen in die mehr zu Tage liegenden oberen und vorderen Gebiete, in diesem »Excelsior», welches, wie ein über das Leben der Sprache verhängter Spruch, die ganze geschichtliche Entwicklung ihrer lautlichen Seite bestimmt, sehe ich eben eine Offenbarung ihrer allmählichen, unaufhörlich fortschreitenden stufenweisen Vermenschlichung.

Dieses Emporsteigen des Sprechens aus den Tiefen der Sprachwerkstatt auf ihre Oberfläche, dem Gesichte näher, harmonisiert vollkommen mit der Körperlage des zweifüssigen, eine erhabene Stellung bewahrenden und kühn mit seinem Gesichte auf die umgebende Welt herabblickenden Wesens». (Seite 18—19).

Wie aus dem oben angeführten zu sehen ist, besteht eine sehr interessante Parallele zwischen unseren anatomischen und Baudouin de Cuortenay's philologischen Erfahrungen. Die nach vorne stattfindende Verschiebung der Spracharbeit in der historischen Entwicklung einer Sprache findet sein Analogen in der phylogenetischen Muskularisierung der Zunge. Wir können also sagen dass die Phylogenie der Sprache der Phylogenie der Zunge entspricht. Leider hat B. d. C. nicht die ontogenetische Entwicklung der menschlichen

Sprache zur Stütze seiner Theorie herangezogen. Wir haben auch leider nur zwei Werke [1]) aus dem Gebiete der Entwicklung der Kindersprache erlangen können. Aber was aus diesen leider zu wenigen Quellen hervorgeht, steht nicht im Widerspruch zu B. d. Courtenay's Erfahrungen. Besonders ist aber zu beachten, dass die mannigfaltigen Anachronismen, die tatsächlich in dem Werdegang der Kindersprache vorkommen, niemals ein unverfälschtes, phylogenetisches Bild der Sprachentwicklung darstellen können, denn erstens spielen beim Bilden der Laute auch die angeborenen Saug-, Schluck- und Leckbewegungen der Lippen, des Gaumens und der Zunge mit, zweitens wirken beim Sprechen die in unserer anatomischen Erörterung gar nicht berücksichtigten mimischen Lippenmuskeln, die natürlich nichts mit unserer von hinten nach vorn stattfindenden Muskelwanderung zu tun haben.

Es lassen sich aber für diese philologische Theorie noch weitere Stütze aus der Paläanthropologie auffinden, die zur Zeit der Veröffendlichung der B. d. C.-schen Schrift noch nicht bekannt waren. In der Reihe: Pithecanthropus erectus, Homo heidelbergensis, Homo primigenius s. neandertalensis und Homo recens kann man sehr deutlich die Vergrösserung des Kinnvorsprunges konstatieren. Es ist also ganz richtig, wenn B. d. C. angiebt, dass die M. m. geniohyoidei und genioglossi in der aufsteigenden Entwicklungsreihe immer mehr Platz bekommen. Dabei ist es aber interessant zu konstatieren, dass man anatomisch die Vergrösserung und Verstärkung der Tätigkeit dieser Muskeln konstatieren kann. Es lässt sich nämlich feststellen, dass je grösser der Kinnvorsprung wird, um so deutlicher erscheint auch die Ansatzstelle dieser Muskeln, so dass sie beim rezenten Menschen zapfenförmig hervorragt. Da die Zunge beim Nahrungsgeschäft in der Gattung Homo den niederen Primaten gegenüber keine grössere Leistungsfähigkeit erworben hat, kann diese verstärkte Tätigkeit nur mit dem Sprechen in Zusammenhang gestellt werden. Dazu ist noch zu beachten, dass,

---

[1]) Neumann 1908, Seite 11—18 und Franke 1911, seite 18—26.

je höhere Formen wir in der Menschenreihe betrachten der Gaumen um so gewölbter erscheint, was auf eine Entwicklung der Gaumenverschlusslaute hindeutet (Franke). Zum Schluss wäre noch ein Gebiet zu erwähnen auf dem man vielleicht in der Zukunft Aufschlüsse über die sprachliche Phylogenese erhalten könnte, nämlich die vergleichende Tiersprachforschung, die zuerst durch Garner's orginelle Studien über die Affensprache wissenschaftlich in Angriff genommen worden ist, die aber bis jetzt recht wenig Beachtung von Seite der Fachgelehrten gewonnen hat.

Giebt es also zwar noch viele Anregungen zu neuen Untersuchungen, so muss doch ein jeder gestehen, dass die oben angeführten, von so weit verschiedenen Gebieten stammenden Erfahrungen eine staunenswerte Übereinstimmung zeigen. Daraus folgern wir, dass die von uns weiter oben angeführten Ansichten richtig sein müssen. Früher wurde das Hauptgewicht auf die Bedeutung der Hand in ihrer Beziehung zum heranwachsenden Grosshirn gelegt. Wir aber verlegen den Schwerpunkt auf die korrelative Verknüpfung zwischen Hand und Zunge, wodurch allein die wichtigste Bedingung der Menschwerdung, die Entstehung der Sprache möglich ist. Ist aber diese Verknüpfung vorhanden wie in der Gattung Homo, dann bewirkt das Vorhandensein einer geschickt tätigen Greifhand (als Tastorgan, als Verfertiger von Waffen und bei der Anwendung derselben) eine erhebliche Vergrösserung des Grosshirns. Zugleich ermöglicht die sich noch frei betätigende Zunge die Entstehung der Sprache, womit das gewaltige Anwachsen des assoziativen Grosshirnsbezirks zusammenhängt, das den Menschen zu einem Gehirntier macht.

Benutzte Litteratur.

Backman, Gaston, Människans förhistoria. I Del. Den äldre stenåldern. Stockholm. 1911.

Baudouin de Courtenay, J., Vermenschlichung der Sprache. Samml. gemeinverst. wiss. Vorträge herausg. v. Virchov und Wattenbach. Neue Folge. VIII Serie, Heft 173, Hamburg. 1893.

Buttel-Reepen, H. von, Aus dem Werdegang der Menschheit Jena 1911.

Darwin, Charles, Die Abstammung des Menschen und die geschlechtliche Zuchtwahl. Deutsch v. J. V. Carus Bd I—II. Stuttgart. 1875.

Driesmans, Heinrich, Der Mensch der Urzeit. Stuttgart 1907.

Fieandt, Einar, Über das Wurzelgebiet des Nervus hypoglossus und den Plexus hypoglosso-cervicalis bei den Säugetieren. Leipzig. Morphol. Jahrb. Bd. 48. Seite 513—644. 1914.

—»— Ihmisen polveutuminen. Otava. Helsinki, 1910.

—»— Esi-ihminen vanhemmalla kivikaudella. Luonto Tieteen Valossa, IV osa, siv. 313. Porvoo. 1911.

Fischer, E., Anthropogenese. Handwörterbuch der Naturwissenschaften Bd. I, p. 472.

—»— Fossile Hominiden. Handwörterb. der Naturwiss. Bd. IV, p. 332.

Franke, Carl, Die mutmassliche Sprache der Eiszeitmenschen. Leipzig u. Zürich, 1911.

Fürbringer, Max, Über die Spino-occipitalen Nerven der Selachier und Holocephalen und ihre vergleichende Morphologie. Festschr. für Gegenbaur, S. 349—788. Leipzig. 1897.

Gegenbaur, Carl, Über die Phylogenese der Zunge Morphol. Jahrb. Bd.

Glaesmer, Erna, Untersuchung über die Flexorengruppe am Unterschenkel und Fuss der Säugetiere Morphol. Jahrb. Bd. XXXVIII S. 1—57. 1908.

—»— Die Beugemuskeln am Unterschenkel und Fuss bei den Marsupialia, Insectivora Edentata, Prosimiæ und Simiæ. Morphol. Jahrb. Bd. XLI. S. 149—336. 1910.

Garner, R. L., The Speech of Monkeys. London. 1892.

Haeckel, Ernst, Anthropogenie. III Aufl. Leipzig 1877.

—»— Systematische Phylogenie der Wirbeltiere. III T. Berlin, 1895.

—»— Natürliche Schöpfungsgeschichte 10 Aufl. Bd. II Berlin, 1902.

Hoernes, Moriz, Der diluviale Mensch in Europa. Braunschweig, 1903.

—»— Natur- und Urgeschichte des Menschen. Bd. I—II. Wien und Leipzig, 1909.

Huxley, Th. H. Zeugnisse für die Stellung des Menschen in der Natur. Deutsch v. J. V. Carus, Braunschweig, 1863.

Kohlbrugge, J. H. F., Die morphologische Abstammung des Menschen. Stuttgart.

Klaatsch, Herman, [1]).

Meumann, Ernst, Die Entstehung der ersten Wortbedeutung beim Kinde. II Aufl. Leipzig, 1908.

Stratz, C. H., Zur Abstammung des Menschen, Stuttgart. 1906.

Verworn, Max, Die Entwicklung des menschlichen Geistes. Jena, 1910.

Weber, Max, Die Säugetiere. Jena, 1904.

Wenzel, G. I., Neue Entdeckungen über die Sprache der Tiere. Leipzig, 1911.

Wiedersheim, R., Der Bau des Menschen als Zeugnis seiner Vergangenheit. Tübingen, 1908.

Wilser, Ludvig, Menschwerdung. Stuttgart, 1907.

---

[1]) Die Arbeiten von Klaatsch konnte ich leider nicht erlangen, musste mich mit Fischers sehr genaue Zitaten begnügen.

Öfversigt af Finska Vetenskaps-Societetens Förhandlingar.
Bd. LXI. 1918—1919. Afd. A. N:o 5.

Über die Häufigkeit der Bewölkungsstufen an einigen Hauptstationen Europas.

Von

Osc. V. Johansson.

Die Ableitung der Häufigkeitszahlen der geschätzten Bewölkungsstufen ist schon seit langem als ein Prüfungsmittel zur Beurteilung der Güte der Schätzungen empfohlen und auch in einigen Fällen hierzu angewandt. Leider entbehren manche sogar grosse und neuere Bewölkungsuntersuchungen einer diesbezüglichen Prüfung gänzlich. Bei anderen, welche die Häufigkeitszahlen zur Kritik der Schätzungen, zur näheren Darstellung des Klimas oder zur teoretischen Ableitung der Verteilungsfunktionen herangezogen haben, vermisst man wiederum einen Versuch, die normalen Formen der Häufigkeitskurven festzustellen. In gewissem Masse ist dies auch u. a. in den wichtigen Arbeiten Köppen et Meyers[1]) und Obermayers[2]) der Fall.

Im allgemeinen hat man nur Zacken und Störungen in dem mittleren Teile der Häufigkeitskurve als Zeugnisse von Schätzungsfehlern angesehen, aber wenig die wichtigen extremen Stufen kritisiert. In meinen früheren Bewölkungsstudien[3]) habe ich jedoch schon mehrmals diese extremen Stu-

[1]) Aus dem Archiv der Deutschen Seewarte. XVI 1893 N:o 5.

[2]) Sitzungsber. der Wiener-Akad. B. 117 IIa. S. 217.

[3]) Vgl. in erster Reihe: Bidrag t. kännedom om Finlands natur o. folk. H. 75, N:o 5.

fen als ausschlaggebend gefunden. Dieses galt u. a. als Zeugnis der Berücksichtigung der international festgestellten Dichtigkeitsregel bei den Schätzungen. Eine eingehende Untersuchung der Häufigkeitskurven an einigen Hauptobservatorien, bei denen man die besten Zahlen zu erhalten hoffen könnte, schien mir schon damals in allen diesen Beziehungen wünschenswert. Da neulich die internationalen Vereinbarungen in diesen Methoden von v. Hann stark in Angriff genommen wurden, schien es von noch grösserem Interesse zu sein eine diesbezügliche Untersuchung durchzuführen.

Ehe wir uns den Schätzungen zuwenden, will ich einige im folgenden angewandte Grössen definieren oder ableiten und auch einige einleitende Prinzipien vorführen.

I. Einleitendes.

1) *Die Grössen und ihre gegenseitigen Beziehungen.*

Für die zur Darstellung der Bewölkungsverhältnisse üblichen Grössen wollen wir folgende Benennungen einführen:

b = die mittlere Bewölkung des betreffenden Zeitabschnitts

h = die Zahl der heiteren Beobachtungen, (Bew. = 0).

g = die Zahl der Beobachtungen der Stufen 1—9, oder mit gebrochenem Himmel

t = die Zahl der trüben Beobachtungen (Bew. = 10)

g_1, g_2 ... bis g_9 die Zahl der einzelnen Stufen 1, 2, u. s. w. bis 9.

b_1 = die mittlere Bewölkung der Stufen 1—9.

Alle diese Zahlen werden in Prozenten ausgedrückt, b und b_1 von dem Himmelsgewölbe, h, g und t von

---

[1]) Medeords. Zeitschr. 1916. S. —.

der Zahl der sämtlichen Beobachtungen. Den Definitionen gemäss ist:

$$1)\qquad h + g_1 + g_2 + \text{--} + g_9 + t = h + g + t = 100$$

$$2)\qquad b_1 = \frac{10\, g_1 + 20\, g_2 + \text{--} + 90\, g_6}{g_1 + g_2 + \text{---} + g_0} = \frac{10 \sum\limits_{n=1}^{n=9} n g_n}{g} \quad \text{und}$$

$$3)\qquad b = \frac{10 \sum\limits_{n=1}^{n=9} n g_n + 100\, t}{h + g + t} = \frac{10 \sum\limits_{n=1}^{n=9} n g_n}{100} + t$$

oder wenn man hier b_1 nach 2) einführt:

$$4)\qquad b = t + g\,\frac{b_1}{100}$$

Die letzte Gleichung 4) sagt also nur, dass die mittlere Bewölkung eine Summe von der in Prozenten ausgedrückten Zahl der trüben Beobachtungen (t) und dem von den Stufen 1—9 gelieferten Anteil der Bewölkung ist, d. h. g Prozenten von deren mittleren Grösse b_1. Die Gleichung 4) kann auch für die Berechnung von b_1, t und g (oder h), wenn man die anderen Grössen kennt, angewendet werden, z. B.:

$$5)\qquad b_1 = \frac{100\,(b - t)}{g}$$

In mancher Hinsicht kann es auch von Interesse sein festzustellen, welcher prozentuale Anteil der Bewölkung von dem gebrochenen Himmel herrührt. Diese Prozentzahl nennen wir v und ist also nach der Definition

$$6)\qquad \frac{vb}{100} = b - t, \quad v = \frac{g b_1}{b}$$

Seitdem ich diese Gleichungen für die folgenden Berechnungsergebnisse vielfach angewandt hatte, fand ich, dass Kremser[1]) schon längst eine Gleichung aufgestellt hatte, von welcher 4) nur eine Unterabteilung ist. Die Gleichung Kremsers lautet nämlich:

7) $$b = \frac{k\,\varkappa + g\,\gamma + t\,\tau}{n}$$

wo nach Kremser k, g und t die Zahl, $\varkappa, \gamma$ und τ die mittlere Bewölkung der klaren, gebrochenen bzw. trüben Tage bedeuten, n die Gesamtzahl der Tage, d. h. $n = k + g + t$ ist. Offenbar gilt aber diese Gleichung für eine beliebige 3-Teilung der Werte, aus welchen die mittlere Bewölkung berechnet werden soll. In unserem obigen Falle hätten wir also $k = h$, $\varkappa = o$, $\gamma = b_1$, $\tau = 100$ und $n = 100$. Führt man diese Werte in 7) ein, fo bekommt man die Gleichung 4).

Wir wollen jetzt über die gegenseitigen Grössenverhältnisse von h, g und t, d. h. die sogenannte Häufigkeitskurve, einige allgemeine Überlegungen vorführen, ehe wir uns den Beobachtungen zuwenden. Bekanntlich sind, wenigstens in den mittleren Breiten, die extremen Stufen 10 und 0, (t und h) die häufigsten, oder eine der beiden grösser als jeder g_n, meistens auch t grösser als h. In diesem Falle, da t und h die g_n übertreffen und die Umgebung des behandelten Ortes für die Wolkenbildung auf allen Seiten gleichartig ist, liegt es nahe anzunehmen, dass der *mittlere Teil der Häufigkeitskurve zwischen den Stufen 1 und 9 symmetrisch verläuft:* denn man scheint keinen Grund zu finden, dass die Wolken häufiger einen bestimmten Teil des Himmelsgewölbes überziehen als die Lücken zwischen den Wolken in anderen Fällen und umgekehrt. Diese wahrscheinliche Annahme wird also dadurch ausgedrückt, dass

8) $$g_1 = g_9,\ g_2 = g_8,\ g_3 = g_7,\ g_4 = g_6 \text{ ist.}$$

---

[1]) Met. Zeitschr. 1885 S. 324.

Nach Gleichung 2) wird hierbei:

9) $$b_1 = \frac{100\,(g_1 + g_2 + g_3 + g_4) + 50\,g_5}{2\,(g_1 + g_2 + g_3 + g_4) + g_5} = 50.$$

Wenn also die Stufen 1 bis 9 sich symmetrisch verteilen, ist die mittlere Grösse derselben gleich 50 %, eine Eigenschaft, die übrigens direkt in dem Begriffe Symmetrie liegt. Die Gleichung 4) würde dann in die sehr einfache:

10) $b = t + \frac{1}{2} g$ übergehen oder g nach 1) eingesetzt in:

11) $$b = 50 + \tfrac{1}{2}\,(t - h).$$

Wir haben hier wiederum viele Ähnlichkeiten mit den Ergebnissen und Annahmen Kremsers und Grossmanns[1]). Dieser hatte nach früheren Vorbildern die bekannte Formel:

12) $$b = a + c\,\frac{t - k}{n}$$

aufgestellt, wo t und k die Zahl der trüben und klaren Tage ähnlich wie bei Kremser bedeuten, a und c wiederum für grössere Bezirke ziemlich konstante Grössen bezeichnen. In dem Kremser diese von Grossmann empirisch gefundene Gleichung identisch mit seiner allgemeinen setzt und aus dieser g eliminiert, findet er als Bedingung und Grösse der Grossmannschen Konstanten a und c

13) $$a = \gamma = \tfrac{1}{2}\,(\tau + \varkappa)$$

14) $$c = \tfrac{1}{2}\,(\tau - \varkappa)$$

und als allgemeinen Ausdruck für den Fehler Δ der Gleichung Grossmanns:

---

[1]) Met. Zeitschr. 1884 S. 341.

15) $$\Delta = \frac{g}{n}\left(\gamma - \frac{\tau + \varkappa}{2}\right),$$

woraus Kremser den Schluss zieht, dass die lineare Funktion Grossmanns richtig ist, wenn die mittlere Bewölkung der gebrochenen Tage (γ) gleich dem Mittel der Bewölkung der heiteren (k) und trüben Tage (τ) ist. Kremser findet durch Heranziehen der Beobachtungen, dass diese Bedingung, welche durch 13) oder $\Delta = 0$ ausgedrückt wird, nicht ganz erfüllt ist, weshalb er den Konstanten a zwischen γ und $\frac{\tau + \varkappa}{2}$ liegende Werte gibt, entsprechend auch c abändert. Für 4 verschiedene Beobachtungsnetze schwankt aber die auf diese Weise bestimmten a und b nur zwischen den engen Grenzen 49 und 52. Häufig war γ am grössten (55—62) im Sommer, am kleinsten (48—56) im Frühjahr.

Die Formeln 12) bis 15) gelten aber wie 7) allgemein und wir können diese u. a. auf unsere Stufenrechnungen prüfen. Die Bedingung 13) Kremsers gibt mit unseren Bezeichnungen $b_1 = \frac{1}{2}\,100 = 50$, was unsere obige Annahme war. Also ist $a = b = 50$ und die Gleichung 12) geht in 11) über. Der Fehler dieser Gleichung 11) wird wiederum nach 15) $= \frac{g b_1}{100} - \frac{1}{2} g$, was übrigens durch Vergleich von 11) mit der allgemeinen Gleichung 4) sofort hervorgeht.

Man kann aber daraus, dass Kremser die Gleichung 13) nicht ganz den Beobachtungen entsprechend fand, nicht unmittelbar schliessen, dass unsere Annahme $b_1 = 50$ ebenso unrichtig wäre, denn die Bedingung 13) setzt eine Symmetrie der mittleren Bewölkung, der trüben, gebrochenen und heiteren Tage voraus. Diese Annahme trifft aber viel weniger zu als unsere in Betreff der Symmetrie für die gebrochenen Stufen 1—9, weil sowohl in den trüben und heiteren Tagen, als auch in den gebrochenen die unsymmetrischen Stufen 10 und 0 eingehen. Dazu kommen noch Schätzungsfehler hinzu,

[1]) Vgl. Met. Zeitschr. 1911 S. 338.

welche wir später erwähnen werden. Es sei schon hier hervorgehoben, dass z. B. für die antarktische Gauss-Station die Konstanten a und b sehr genau zu 50 gefunden wurden, wodurch also auch für trübe und heitere Tage eine Symmetrie-Gleichung wie 7) bestehen würde.

2) *Die Annahme: alle Zwischenstufen gleich häufig.*

Wir werden jetzt die Verteilung der Häufigkeitszahlen der Bewölkungsstufen näher ansehen, die normalen Verhältnisse aufsuchen und die Fehler dieser Häufigkeitskurven analysieren und charakterisieren. In erster Reihe werden wir nur solche klimatische Verhältnisse in Betracht ziehen, wo die Grenzstufen 0 und 10 oder wenigstens 10 Prävalenten sind, d. h. ein Klima, das in Europa gewöhnlich ist. Wir nehmen auch an, dass gemäss der internationalen Regel, keine Rücksicht auf die Dichte der Wolken genommen ist. Wie oben, kann man unter dieser Annahme erstens als einen sehr wahrscheinlichen Fall erwarten, dass die Zwischenstufen 1—9 sich ziemlich symmetrisch verteilen, so dass die Stufen, welche gleich viel von der mittleren Stufe 5 abweichen, auch ungefähr gleich häufig sind. Aber man könnte mit gutem Recht nicht nur Symmetrie dieser Stufen, sondern sogar den Spezialfall, dass *alle Zwischenstufen gleich häufig sind*, erwarten. Man muss nämlich berücksichtigen, dass die Grenzstufen 10 und 0 auch als gewisse Summationsstufen betrachtet werden können. Die Ziffer 10 kann nach der üblichen Schätzungsart von dem leichtesten Ci-S-Schleier bis zu den dichtesten Ni,- S-, Nebeldecken u. s. w. bedeuten, sie kann das eine Mal nur eine dünne einfache Wolkenschicht, ein anderes Mal wiederum eine von mehreren übereinander gelagerten Schichten gebildete Decke ausdrücken. Ebenso kann man die Bewölkung 0 als eine Summe von mehreren Stufen verschiedener Reinheit des Himmels auffassen. Wir wissen ja z. B., dass die Durchsichtigkeit der Luft und die Farbe des wolkenfreien Himmels sehr wechseln kann, oder wie die aktinometrischen Messungen und die Temperaturverhältnisse uns lehren, dass ebenso die Strahlung

sehr grosse Schwankungen bei heiteren Himmel aufweist. Teils sind unsichtbare Kondensationsprodukte, teils andere Trübungsarten hieran Schuld. Jedenfalls haben wir also Grund, die Stufen 10 und 0 wie erwähnt als gewisse Summationsstufen aufzufassen. Wir haben also hier einen Fall ähnlich dem, welcher entstehen würde, wenn wir z. B. Schätzungen über die Ausdehnung der Schneedecke in der Umgebung in Zehntelteilen von dieser ausführen wollten. Im nordischen Klima würde man sehr oft dabei die Grenzstufen 10 und 0 erreichen, selten die Zwischenstufen 1—9. Bei solchen Schneebeobachtungen wäre es aber sicherlich wahrscheinlich, dass die Verteilung von einer genügenden Zahl von Beobachtungen mit 1—9 Zehntel ganz gleichmässig würde, sämtliche Stufen also ungefähr gleich häufig auftreten. Hierbei ist natürlich vorausgesetzt, dass die Umgebung ganz homogen ist, eine glatte horizontale Scheibe darstellt. Analoges könnte man bei den Bewölkungsschätzungen in gewissen Fällen erwarten. Hierfür müssen erstens die erwähnten Voraussetzungen da sein, d. h. die extremen Stufen 10 und 0 müssen sehr häufig auftreten und die Umgebung des Ortes keine besondere lokale Ursachen für Bildung oder Auflösung von Wolken darbieten. Diese Bedingungen sind notowendig, aber es ist nicht gesagt, dass dieselben immer hinreichend sind.

Um diesen Fall noch klarer zu machen, wollen wir noch andere Beispiele als Vergleiche nehmen. Der Luftdruck ist z. B. ein Element, das bei uns im Winter grosse Schwankungen aufweist und, wie theoretisch zu erwarten ist, keine ausgesprochene Prävalenten darbietet. Die Häufigkeitskurve dieses Elementes ist also sehr flach. Wählt man darum ein im Verhältnis zu der Schwankungsweite kleines Intervall in der Mitte heraus, so verläuft die Häufigkeitskurve hier ziemlich parallel mit der Abscissenaxe oder die Werte dieses Intervalls sind ungefähr gleich häufig. So findet man z. B. für Breslau um 6 a im Winter nach Meyer[1]) den mittleren Luftdruck zu 749.7 mm (ohne Schwerekorrektion)

---

[1]) Anleitung zur Bearb. met. Beobachtungen. Berlin, 1891, S. 63.

und die Verteilung in Gruppen von 1 mm um das Mittel herum folgendermassen in Promille:

Gruppen	0 < 745.0	1 45.0/45.9	2 46.0/46.9	3 47.0/47.9	4 48.0/48.9	5 49.0/49.9
	301	41	40	40	39	37

Gruppen	6 50.0/50.9	7 51.0/51.9	8 52.0/52.9	9 53.0/53.9	10 ≥ 754.0
	38	36	34	37	357

Die kleinen Variationen (von höchstens 7 $^0/_{00}$) der 9 angeführten mm-Gruppen sind wohl meistens noch zufälliger Natur und wir können diese Häufigkeitszahlen als konstant (c. 4 %) betrachten. Sämmtliche Werte > 745 mm haben wir zu eine Gruppe 0 zusammengefasst und umfasst diese 30 % der Werte. Ebenso enthält die Summengruppe 10 36 % Werte ≥ 754 mm. Wir könnten für die Bewölkung eine ähnliche Verteilung annehmen, so dass den obigen Gruppen 0 bis 10 die üblichen Bewölkungsstufen entsprechen. Eine wesentliche Voraussetzung ist, dass die Stufen 0 und 10 bei der Bewölkung als ähnliche Summationsgruppen wie oben für den Luftdruck aufgefasst werden können.

Es fragt sich nun, ob die Bewölkungszahlen wirklich ähnliche Eigenschaften aufweisen können. Am nächsten muss man dieses erwarten, wenn man nur die Bewölkung einer kleineren bestimmten Fläche ins Auge fasst, denn da kann man kaum einen Grund finden, weshalb einige bestimmte Zwischenstufen bevorzugt würden, vorausgesetzt, dass die Stufen 0 und 10 sehr häufig sind. Wenn wir die Zahlen noch von subjektiven Schätzungsfehlern befreien können, so müs-

sen diese für die normale Form der Häufigkeitskurve am besten entscheidend sein. Die besten Zahlen für diese Zwecke können wir deshalb aus den Auswertungen des »Pole Star Rekorders» erwarten. Für Potsdam liegen einige solche Zahlen veröffentlicht vor, für November 1910 bis Januar 1911 von Martin[1]) und für Januar und Februar 1912 in dem Potsdamer Jahrbuch für 1911[2]). Diese Häufigkeitszahlen waren in Promille:

Die Häufigkeit der Bevölkungsstufen in Potsdam nach dem Pole Star Rekorder.

Stufe	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1910—11 6—9p	133	27	36	33	39	27	30	27	41	56	553
10 p—6a	128	43	37	31	31	27	23	31	27	57	555
Mittel	129	39	37	32	33	34	25	30	31	57	555
1912 6 p—6a[3])	240	60	30	20	30	20	30	10	20	30	490
Allgemeines Mittel	173	47	34	27	32	28	27	22	27	46	529

Die Zahlen entsprechen im allgemeinen sehr gut dem Erwarteten. Wenigsten zwischen 2 und 8 sind *die Zahlen sehr konstant und ein bestimmtes Minimum ist nicht zu finden.* Darum scheint es auch nicht in der Natur begründet zu sein, dass die Stufen 9 und 1 etwas häufiger als die zwischenliegenden sind. Für 9 findet man übrigens diesen Überschuss nur in dem ersten, für die Stufe 1 nur in dem zweiten Winter. Soweit nicht nur Zufälligkeiten hier bestimmend waren, kann man vielleicht den Apparat oder die Ablesungsmethode hierfür verantwortlich machen. Möglich ist wohl, dass der Apparat besser als das Auge das Sternen-

[1]) Meteor. Zeitschr. 1911 S. 186.

[2]) Ergebn. der Meteor. Beob. in Potsdam 1911 S. VIII.

[3]) Die Zahlen waren nur in ganzen Prozenten angegeben und ihre Summe ist nur 98, ob nur durch Zufall oder durch Druckfehler, muss dahingestellt bleiben.

licht durch dünne Wolken zu empfangen im Stande ist oder man hat wie bei den Auswertungen des Sonnenscheinautographen in Potsdam üblich ist schon die kleinsten Zeichen als 0.1 Stunde vermerkt. Wir können also berechtigt sein, kein grösseres Gewicht auf die Abweichungen der Stufen 1 und 9 zu legen, und ist dieser Überschuss reel, so ist derselbe jedenfalls ziemlich klein. Das Verhältnis von g_9 zu dem Mittel der 3 Mittelstufen g_4, g_5 und g_6 ist 1.6, dasjenige von g_1 ebenso 1.6.

Leider sind mir andere Ergebnisse solcher Registrierungen nicht zugänglich. Die Sonnenschein-Registrierungen lassen sich nicht mit Vorteil anwenden, weil die Abhängigkeit von der Bewölkung keine einfache ist [1]). Jedenfalls habe ich versuchsweise einige Sonnenscheinregistrierungen nach der Häufigkeit der Stufen 0, 10, 20 u. s. w. bis 100 % untersucht, nämlich für Helsingfors 7 Jahre 1904—10 um 1—3 p, für Potsdam 11 a—1 p 1912 und für De Bilt 12—2 p (Jordan-Apparat 1—3 p) 1910. Die Häufigkeitszahlen wurden im Jahresmittel folgende, diejenigen für Potsdam und De Bilt dabei ausgeglichen:

Sonnenschein %	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Helsingfors 1904—10.	452	40	32	34	25*	28	27	31	40	45	245
Potsdam 1912.	314	80	67	44	41*	44	49	55	60	72	174
De Bilt 1910	296	52	56	56	54	52	42*	45	55	68	224
Mittel Campbell . . .	354	57	52	45	40	41	39*	44	52	62	214
De Bilt, 1910, Jordan	324	77	66	58	52	52	50*	50*	52	58	159

In der Mitte dieser Häufigkeitskurve treten hier meistens ganz flache Minima vor, die offenbar teils noch von Störungen beeinflusst sind. Bei den äussersten Stufen 90 und 10 % erreicht die Häufigkeit etwas, etwa 50 %, höhere Werte als bei den zentralen Stufen. Wie schon angedeutet

[1]) Vgl. z. B. Meteor. Zeitschr. 1910 S. 137.

wurde und hier u. a. durch Vergleich der beiden Apparate in De Bilt bestätigt zu sein scheint, können die Apparate und Auswertungsmethoden hierfür verantwortlich werden. Der relative Sonnenschein von 10 % entspricht auch nicht genau der Bewölkungsstufe 9 sondern eine etwas kleinere, 90 % wiederum gar nicht der Stufe 1 sondern etwa 5 à 6.

Wenden wir uns den Schätzungen der Bewölkung zu, können wir, wie gesagt, die obige gleichmässige Verteilung am besten durch solche Beobachtungen erwarten, wo nur ein kleiner Teil des Himmelsgewölbes ins Auge gefasst ist, d. h. durch s. g. Zonenbeobachtungen. Leider sind die in Pawlowsk und Moskau ausgeführten Zonenbeobachtungen nur in Monatsmitteln veröffentlicht. Dagegen hat Marten auf derselben Stelle, wo die erwähnten Polarsternregistrierungen zu finden waren, auch Vergleichsergebnisse von Zonenbeobachtungen in Potsdam im Juni 1910 in Häufigkeitszahlen angegeben. Ich führe diese hier sowohl für die Zone über 60° Höhe als für den ganzen Himmel in $^0/_{00}$ an, habe aber die Zahlen für die Zwischenstufen ausserdem ausgeglichen, weil offenbar noch gewisse Schätzungsfehler die Ergebnisse entstellt haben.

Zonenbeobachtungen in Potsdam, Juni 1910 $^0/_{00}$

Stufe	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ganzer Himmel . . .	79	92	67	94	54	58	88	98	79	133	158
» ausgegl. . . .	79	84	80	77	65	64*	83	91	97	115	158
Zone 60—90°	271	71	31	52	56	42	52	35	46	83	260
» ausgegl.	271	58	46	48	52	48	45	42	52	71	260
Differenz	192	—26	—34	—29	—13	—16	—38	—39	—45	—44	102

Wir finden hier wiederum, besonders durch die Zahlen der letzten ausgeglichenen Reihe, dass die Häufigkeit von der Stufe 2 bis 8 sehr konstant ist, ähnlich wie die Nacht-

registrierungen ergaben. Das Minimum bei der Stufe 7 muss nämlich als zufällig angesehen werden. Dagegen zeigen die ausgeglichenen Zahlen für den ganzen Himmel einen anderen Typus mit einem Minimum bei der Stufe 5 und einem ziemlich regelmässigen, nur bei 6 und 1 etwas gestörtem Anwachsen gegen die Endpunkte. Obwohl die Extreme in diesem Monat, wie Vergleiche mit anderen später angegebenen Zahlen lehren, zufällig selten auftraten, gibt die Verteilung übrigens gut die gewöhnliche längst bekannte u. a. von v. Obermayer[1]) mathematisch untersuchte U-förmige Häufigkeitskurve wieder. Wir kommen zu diesen noch öfters, u. a. auch nach den Beobachtungen, zurück. Hier bemerke ich nur, dass die obigen unausgeglichenen Zahlen für den ganzen Himmel schon deutlich angeben, dass gewisse Schätzungsfehler in Potsdam wie so ziemlich überall vorkommen. Ausser 3 und 7 sind offenbar, wie schon der Vergleich mit naheliegenden Stufen lehrt und wie wir später noch näher finden werden, auch die äussersten Endstufen 1 und 9 bevorzugt, vornehmlich aber diese. Es ist darum ganz begreiflich, dass ähnliche Schätzungsfehler auch in Betreff der zenithalen Zone auftreten. Die Steigerung der Zonenkurve bei 9 und 1 müssen wir somit wiederum als eine Störung betrachten, was schon durch die Beständigkeit der Stufen 2—8 hervorzugehen scheint. Die Vergrösserung von g_1 im Verhältnis zu den 3 Mittelstufen ist übrigens für die Zone auch schon etwas kleiner (1.7) als dieselbe für den ganzen Himmel (2.0). Dieses würde schon andeuten, dass die gewöhnliche Form der Häufigkeitskurve durch die besondere Art des Himmelsgewölbes und die Verteilung der Wolken auf demselben beeinflusst wird.

Ehe wir uns verschiedenen Häufigkeitskurven der Bewölkungsstufen zuwenden, wollen wir noch nachsehen, wie die Grösse b_1 nach den obigen Zahlen ausfällt. Da die einzelnen g_n, wie wir fanden, meistens etwa gleich sind, sind die Häufigkeitszahlen also auch ziemlich symmetrisch, d. h. b_1 muss näherungsweise gleich 50 sein. Berechnen wir die

---

Sitzungsber. der Wiener Akad. 67 IIa, S. 217, 1908.

mittlere Bewölkung nach Formel 3), b_1 wiederum nach 5), finden wir nach den Registrierungen mit dem Pole Star Rekorder im Winter 1910—11 $b_1 = 52$. Rechnen wir aus den Sonnenscheinregistrierungen b_1 und nehmen die Bewölkung wie gewöhnlich als 100—prozentische Sonnenscheindauer an, erhalten wir für Helsingfors $b_1 = 49$, für Potsdam 51, für De Bilt im Mittel der beiden Apparate $b_1 = 50$ %. Die Zonenbeobachtungen in Potsdam geben $b_1 = 51$ %.

II. Die Schätzungen in Helsingfors.

1. *Die Jahren 1904—06, der tägliche Gang.*

Um die in der Natur begründeten Verhältnisse kennen zu lernen und Ausgangspunkte für die Kritik zu erhalten, liegt es am nächsten, die Bewölkungsschätzungen an den meteorologischen Hauptobservatorien heranzuziehen. A priori muss man nämlich erwarten, dass die Schätzungen an diesen unter wissenschaflicher Leitung besser und vertrauenswerter als anderswo ausfallen sollten. Ich habe darum einige Studien für verschiedene Hauptobservatorien ausgeführt und fange mit denjenigen für Helsingfors an, teils weil ich die Verhältnisse hier am besten kenne, teils weil für diesen Ort das Beobachtungsmaterial ziemlich umfassend ist.

Seit dem Anfang der Beobachtungsreihe im Jahre 1844 wurde die Bewölkung in Helsingfors bis 1880 nach der Skala 0—4 geschätzt. Diese Schätzungen sind nicht veröffentlicht, mit Ausnahme der 4 ersten von Nervander bearbeiteten Jahre 1844—48 [1]. Seit 1881 ist man zu der 10-teiligen Skala 0—10 übergegangen und durch vorfindlichen Indizes bei den Bewölkungsziffern im Jahre 1881 findet man auch angedeutet, dass man von Anfang an auch

[1]) Obs. faites à l'Observ. magn. et météor. de Helsingfors Vol. I—IV Helsingfors 1850.

dem internationalen Wunsche in Betreff der Dichte der Wolkendecke Folge leisten wollte. Schon in dem folgendem Jahre sind diese Dichteziffern weggelassen und erst von 1903 an werden diese wiederum eingesetzt, anfangs in sehr spärlichem Umfange und auch später keineswegs regelmässig. Welche Vorschriften den Beobachtern für die Schätzung der Bewölkung gegeben ist, lässt sich nicht feststellen. In meinen früheren Studien [1]) habe ich aber schon einige Umstände angegeben, welche uns berichten, dass Änderungen stattgefunden haben und dass man in älterer Zeit sicher auch Rücksicht auf die Dichte bei Schätzung der Ausdehnung der Wolkendecke nahm. Nach den Jahresmitteln fand ich wahrscheinlich, dass Veränderungen etwa in den Jahren 1890 und 1897 stattgefunden haben, die erste beim Wechsel des Direktors der Zentralanstalt, die zweite bei der wesentlichen Umstellung der Beobachtungen, da Registrierungen für übrige Elemente eingeführt wurden und deshalb u. a. alle Nachtbeobachtungen eingestellt wurden.

Da die Schätzungen nach 1897 somit höhere und wahrscheinlich richtigere Werte liefern, habe ich die hauptsächliche Aufmerksamkeit diesen gewidmet. Bei den Untersuchung der Häufigkeitszahlen der 20 Jahre 1898—1917 zeigte es sich aber sehr bald, dass auch in dieser Zeit beträchtliche Änderungen stattgefunden haben. Eine Menge von Beobachtern ist in diesen Jahren tätig gewesen und man findet, dass ein jeder Beobachter seine eigenartige Schätzungsskala aufweist, in manchen Fällen von allen übrigen abweichend. Es erwies sich darum ziemlich unmöglich die richtigsten oder normalen Zahlen abzuleiten. Um jedenfalls irgend welche Ausgangswerte zu bekommen, musste ich einige Jahre herausgreifen. Ich wählte für diesen Zweck die 3 Jahre 1904—06, nicht gerade deshalb, weil ich selbst die Schätzungen damals grösstenteils ausführte, sondern zum Teil auch aus anderen Gründen. Es war nämlich von Interesse u. a.

---

[1]) Met. Zeitschr. 1910 S. 243 u. Bidrag till kännedom af Finl. natur och folk H. 75 N.o 5.

Häufigkeitszahlen für Helsingfors.

Summen 1904–09. Prozenten.

Stufe	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	h	g	t	b	b_1	v
							Winter										
7 a . . .	33	8	5	4	4	3	3	8	2	5	196	12	16	72	80	48	10
10 » . . .	25	8	4	7	2	3	4	8	12	13	185	9	22	68	82	61	17
12 » . . .	21	9	8	11	1	2	5	4	12	15	183	8	25	68	81	55	17
2 p . . .	20	10	12	7	5	2	4	10	9	9	183	7	25	68	80	50	16
5 » . . .	38	10	3	—	3	4	5	4	5	15	184	14	18	68	78	59	13
7 » . . .	52	8	2	1	5	2	—	1	10	10	180	19	14	66	76	63	12
9 » . . .	46	7	6	3	3	1	2	4	2	13	184	17	16	67	76	53	11
Summe	235	60	40	33	23	17	23	39	52	80	1,295	12	19	68	79	55	14
							Frühjahr										
7 a . . .	64	8	9	13	5	6	9	9	7	9	137	23	27	50	63	49	21
10 » . . .	54	19	12	9	3	2	8	10	13	12	134	20	32	49	64	48	24
12 » . . .	56	14	15	10	8	6	2	8	18	9	130	20	32	47	63	48	25
2 p . . .	49	19	13	12	9	4	6	16	10	15	123	18	38	45	63	48	29
5 » . . .	37	15	12	20	9	5	10	11	21	22	114	13	45	41	65	53	37
7 » . . .	55	25	9	9	7	9	8	11	10	14	119	20	37	43	60	47	28
9 » . . .	78	18	7	12	9	5	7	9	13	12	106	28	33	38	55	49	30
Summe	393	118	77	85	50	37	50	74	92	93	863	20	35	45	62	49	28
							Sommer										
7 a . . .	70	19	20	16	4	7	8	12	13	13	94	25	41	34	53	47	35
10 » . . .	47	24	16	25	17	9	13	19	12	13	83	17	53	30	55	47	45
12 » . . .	42	16	17	28	14	10	17	20	17	19	76	15	57	28	56	50	51
2 p . . .	33	28	20	24	15	9	20	22	19	20	66	12	64	24	55	48	56
5 » . . .	24	20	16	13	23	18	25	22	30	25	60	9	70	22	60	54	63
7 » . . .	48	19	19	17	18	13	13	16	24	24	55	17	63	20	51	49	61
9 » . . .	86	24	6	25	16	3	10	12	15	16	63	31	46	23	44	47	48
Summe	350	150	114	148	107	69	106	123	130	130	497	18	56	26	53	49	52
							Herbst										
7 a . . .	52	8	5	4	6	3	4	3	8	16	164	19	21	60	72	57	17
10 » . . .	32	12	13	14	4	4	6	14	4	13	159	12	30	58	73	48	20
12 » . . .	31	12	13	13	10	4	9	10	10	13	148	11	35	54	70	47	23
2 p . . .	31	14	14	16	9	5	5	18	8	16	137	11	38	50	69	49	27
5 » . . .	32	9	10	16	13	9	13	10	9	17	135	12	39	49	69	51	29
7 » . . .	57	12	7	6	5	4	3	4	9	11	155	21	22	57	68	49	16
9 » . . .	69	7	8	12	6	4	3	8	5	16	135	25	25	49	63	54	22
Summe	304	74	70	81	53	33	43	67	53	102	1,033	15	31	54	69	49	22
							Jahr										
7 a . . .	219	43	39	37	19	18	25	32	30	43	591	20	26	54	67	49	19
10 » . . .	158	61	45	53	26	21	31	51	41	51	561	14	34	51	68	50	25
12 » . . .	150	51	53	62	33	22	33	42	57	56	537	14	37	49	68	50	28
2 p . . .	133	71	59	59	38	20	35	66	46	60	509	12	41	46	67	49	30
5 » . . .	131	54	41	49	48	36	53	47	65	79	493	12	43	45	68	54	34
7 » . . .	212	74	37	33	35	28	24	32	53	59	509	19	34	46	64	50	27
9 » . . .	279	56	27	52	34	13	22	33	35	57	488	26	30	45	60	50	25
Summe	1,282	410	301	345	233	158	223	293	327	405	3,688	17	35	48	66	50	27
7, 2, 9 %	19.2	5.2	3.8	4.5	2.8	1.6	2.5	3.7	3.4	4.9	48.1						

den täglichen Gang kennen zu lernen und diese Jahre waren die einzigen, wo die Schätzungen zu wesentlich verschiedenen Tageszeiten von einem und demselben Beobachter ausgeführt wurden und zwar in allen 3 Jahren diejenigen um 7 a, 10 a, 12 mt und 9 p, (O. J.) im Jahre 1904 diejenigen um 2 p ebenfalls von mir. Um 7 p war wiederum derselbe Beobachter (H. H.) meistens tätig, der in den Jahren 1905—06 die Beobachtungen um 2 p ausführte. Da dieser Beobachter H. H. übrigens später die längste Zeit von allen in Tätigkeit war und es sich gezeigt hat, dass derselbe ziemlich gleichartig mit mir die Schätzungen ausführt, bietet die Untersuchung der erwähnten Jahre vorteilhafte Ausgangspunkte. Nur die Beobachtung um 5 p ist in diesen Jahren von einem dritten Beobachter T. W. in abweichender Weise ausgeführt, wie unten näher zu ersehen ist.

Die 3 Jahre 1904—06 gaben für die 7 Tagestermine und die 4 Jahreszeiten die in der umstehenden Tabelle angeführten Summen der Häufigkeitszahlen. Rechts sind auch die drei Hauptgrössen h, g und t, die mittlere Bewölkung b und die nach den Formeln 5) und 6) berechneten Grössen b_1 und v angegeben.

Betrachten wir erstens die Verteilung auf die einzelnen Zwischenstufen, so finden wir im allgemeinen von der Stufe 5 zu 1 und 9 eine beträchtliche Steigung der Häufigkeitskurven. Eine ziemlich ausgesprochene Vorliebe für 3, teils auch für 7 kommt vornehmlich in den von dem Verfasser ausgeführten Beobachtungen um 7—12 a und 9 p zum Vorschein. Auch die Schätzungen des Beobachters H. H:s (um 2 p und 7 p) zeigen Ähnliches auf, zu oft die Stufe 7, besonders um 2 p. Beide Beobachter scheinen auch eine gewisse Abscheu für 5 zu haben ohne dass 4 und 6, sondern erst 3 und 7 bevorzugt wurden. Das Vermeiden von 5 bemerkte ich selbst später und versuchte den Fehler zu berichtigen. Dieses bemerkt man auch durch Vergleich der einzelnen Jahre, denn 1904 gab als Verhältnis zwischen den Häufigkeiten von 5 und umgebenden Stufen 0.4, das Jahr 1905 0.76 und 1906 0.81. Die Vorliebe für 3 und 7 ist

auf eine Dreiteilung des Himmelsgewölbes zurückzuführen. Abweichend von O. J. scheint H. H. eine grössere Vorliebe auch für die Stufe 1 zu haben. Der Beobachter T. W. um 5 p hat wiederum Vorliebe für 9, verhältnismässig viele Stufen 4—6 und wenig 1.

Durch die Natur begründete tägliche und jährliche Veränderungen sehen wir am besten in den 3 Hauptgruppen *h*, *g* und *t* hervortreten, obwohl auch hier gewisse Störungen auftreten. Die durch den vertikalen Luftaustausch beförderte Häufigkeit des gebrochenen Himmels *g* nimmt, wie schon Köppen und Meyer (l. c.) fanden, sowohl in der Tages- wie in der Jahresperiode mit der Wärme zu. Offenbar ist es jedoch von dem Wechsel des Beobachters bedingt, dass *g* sein Maximum erst um 5 p aufweist. Diese Vorliebe des Beobachters T. W. für Zwischenstufen tritt vornehmlich im Sommer zur Tage, wodurch auch die mittlere Bewölkung *b* unnatürlich vergrössert wird. Der Beobachter H. H. scheint wiederum um 7 p im Frühjahr und Sommer zu hohe, im Winter und Herbst zu niedrige *g* zu erhalten, was u. a. durch Vergleiche mit 2 p, wo derselbe Beobachter in 2 von den 3 Jahren tätig war, hervorgeht. Der klare Himmel *h* hat eine entgegengesetzte tägliche Periode, ein Minimum am Tage, wahrscheinlich etwa um 2 p, wie die Zahlen hier im Winter und Herbst angeben. Ähnlich wie *g* ist *h* durchgehends um 9 p grösser als um 7 a. Das Frühjahr hat die grössten, der Winter die kleinsten *h*. Der trübe Himmel ist wiederum nach *t* am häufigsten morgens und nimmt vormittags rasch, nachmittags schwach ab. Eine grössere Störung tritt hierin besonders im Herbst um 7 p hervor [1]). Im Winter bleibt *t* ziemlich unverändert zwischen 10 a und 9 p, erfährt aber eine kleine sprungartige Abnahme von 7 zu 10 a. Zu derselben Zeit und ziemlich gleich in allen Jahreszeiten erleiden auch *h* und *g* sprungartige Änderungen. Bemerkenswert ist, dass *h* von 7 a zu 10 a mit 6 % im Jahres-

---

[1]) Es ist wahrscheinlich, dass diese und andere Störungen um 7 p durch einen vierten Beobachter F. H., welcher zeitweise diese Schätzungen ausführte, hervorgerufen sind.

mittel abnimmt, von 10 a bis 5 p aber ziemlich konstant bleibt. Zum Teil beruht dieses wohl auf der rascheren Steigerung der Temperatur in den Morgenstunden, zum Teil wahrscheinlich auch auf anderen Umständen. Möglich ist, dass bei der knappen Zeit (wegen anderer Beobachtungen) und schlechterer Beleuchtung um 7 a und 9 p die Zwischenstufen zu wenig berücksichtigt werden, die Schätzungen roher als sonst ausfaller. Die starke Zunahme von g um 5 und 7 p vom Winter zum Sommer scheint mir auf ähnlichen Umständen beruhen zu können.

Über die mittlere Bewölkung b sei hier nur hervorgehoben, dass diese erst um 10 a oder später, im Sommer wenigstens nicht früher als um 12 mittags ihr Maximum erreichen würde. Schönrock fand dagegen aus älteren Beobachtungen das Maximum 6—8 a, im Sommer früher als im Winter, in allen Jahreszeiten dagegen ein sekundäres Minimum um 11—12 a. Nach den neueren Beobachtungen hätte also g einen verhältnismässig grösseren Einfluss auf den täglichen Gang der mittleren Bewölkung als nach den älteren. Bei jenen erscheinen also die Konvektionserscheinungen, bei diesen die Strahlungswolken relativ überwiegend. Jedenfalls sagt uns die Grösse v, dass im Jahresmittel nur 27 % der mittleren Bewölkung von den gebrochenen Stufen 1—9 herrühren, und diese Zahl würde noch kleiner ausfallen, wenn wir auch Nachtbeobachtungen heranziehen könnten. Übrigens schwankt diese Grösse täglich und jährlich wie g und übersteigt nur an Sommertagen 50 %, geht aber in Winternächten offenbar unter 10 % herab. Ähnlich wie g erscheint auch v um 5 p zu gross, von anderen Störungen (z. B. 9 p im Frühjahr, 7 p im Sommer und Herbst) abgesehen.

Von Interesse ist es, noch etwas näher die Form der Häufigkeitskurven nach b_1 und den einzelnen g zu beurteilen. Im Jahresmittel finden wir $b_1 = 50$ % den ganzen Tag hindurch. Nur die Schätzungen T. W:s um 5 p geben hier wiederum einen abweichenden Wert 54 %. Ob eine Jahresperiode vorhanden ist, muss noch dahingestellt sein, denn nur der Winter weicht von den übrigen Jahreszeiten durch

6 $^0/_0$ grösseres b_1 ab, was durch Störungen durch ungenügende Beobachtungen hervorgerufen sein kann, wie auch die grossen unregelmässigen Schwankungen im Tageslaufe bezeugen. Obwohl die Häufigkeitskurven somit etwa symmetrisch sind, bemerken wir jedoch, dass sie keineswegs geradlinig, wie die Polarsternregistrierungen in Potsdam näherungsweise angeben, verlaufen, sondern beträchtliche Steigungen von der Mitte zu den äussersten Zwischenstufen 1 und 9 aufweisen. Beim Betrachten der täglichen und jährlichen Änderungen der Häufigkeiten, g_1 und g_9, dieser Stufen finden wir, dass diese ähnlich wie für die gebrochenen Stufen überhaupt (g) verlaufen (in der täglichen Periode für g_1 regelmässiger als für g_9). Die Stufe 9 (und 8) steigt vormittags und in der jährlichen Periode vom Winter zum Sommer auf Kosten von t, scheint aber nachmittags abzunehmen ähnlich wie t. Die Stufe 1 (besser 2) scheint wiederum in der täglichen Periode entgegengesetzt zu h sich zu ändern, aber in dem jährlichen Gange mehr mit h parallel, mit dem Maximum jedoch im Sommer wie g, nicht im Frühjahr wie h. Um aber die Krümmung der Häufigkeitskurven oder die Steigungen von der Mitte zu den äusseren Stufen 1 und 9 näher anzusehen, habe ich unten den Häufigkeiten g_1 und g_2 mit dem Mittelwerth von g_4, g_5 und g_6 verglichen und dabei sowohl die entsprechenden Unterschiede wie die Verhältnisse gebildet. Die g und deren Differenzen sind in Promille ausgedrückt. Die tägliche Periode gibt folgende Werte im Jahresmittel:

	7 a	10 a	12 mt	2 p	5 p	7 p	9 p
$m = (g_4 + g_5 + g_6) : 3$ . .	19	24	27	28	(42)	26	21
$g_1 - m$	20	32	20	37	26	41	30
$g_9 - m$	20	33	24	26	30	27	31
$g_1 : m$	2.1	2.3	1.7	2.3	(1.2)	2.6	2.4
$g_9 : m$	2.1	2.0	1.9	1.9	(1.7)	2.0	2.5

Die Steigungen gegen den Endpunkt sind somit ziemlich unregelmässig, aber gegen die höheren Werte scheint die Steigung jedoch vom Morgen bis zum Abend zuzunehmen also auf Kosten von t zu entstehen. Die Verhältnisse von g_1 und g_9 zu den mittleren Stufen g_4 bis g_6 zeigen dagegen keinen deutlichen täglichen Gang, sondern sind von Störungen abgesehen ziemlich konstant. Noch konstanter würden diese Quotienten, wenn wir statt g_1 und g_9 die Mittelwerte von g_1 und g_2, bzw. g_8 und g_9 verwenden würden (im beiden Fällen 1.8—2.0, die abweichende Beobachtung um 5 p ausser Acht gelassen). Diese Beständigkeit der Verhältnisse würde also sagen, dass die in der Tagesperiode vorsichgehende Änderung in der Häufigkeit der Zwischenstufen in demselben Verhältnis alle Stufen, die mittleren wie die äussersten trifft. In der jährlichen Periode trifft dieses aber nicht mehr zu, wie folgende Zahlen lehren:

	Winter	Frühjahr	Sommer	Herbst	Jahr
$m = (g_4 + g_5 + g_6) : 3$.	11	24	49	23	29
$g_1 - m$ . . .	21	37	29	16	29
$g_9 - m$ . . .	31	24	19	31	29
$g_1 : m$ . . .	2.9	2.6	1.6	1.7	2.0
$g_9 : m$ . . .	3.8	2.0	1.4	2.4	2.0

Die Unterschiede zwischen g_1 bzw. g_9 und den Mittelstufen g_4 bis g_6 sind hier etwa mit h bzw. t gleichlaufend, die Häufigkeit desto grösser, je häufiger diese naheliegenden Grenzstufen ausfallen (h jedoch Minimum im Winter, g_1—m im Herbst). Die Verhältniszahlen g_1:m und g_9:m geben wiederum an, dass die Verteilung auf die Zwischenstufen im Winter viel ungleichmässiger als im Sommer ist und dass also die Zunahme von g vom Winter zum Sommer verhältnismässig stärker die mittleren Stufen als die äusseren trifft. In wie weit diese Befunde noch von Schätzungsfehlern abhängen, ist schwer zu entscheiden.

2. *Ältere Schätzungen.*

Wir wollen jetzt die von den Beobachtern O. J. und H. H. in den Jahren 1904—06 erhaltenen Zahlen aus Mangel an besseren als Ausgangswerte für Vergleiche mit übrigen Jahren betrachten und dieselben der Kürze halber als normal bezeichnen. Erstens wollen wir die Häufigkeitszahlen in den älteren Jahren vor 1898 kurz betrachten. Ich gebe unten solche für 1881—83 und 1891—95 neben denjenigen für 1904—06 an, für die einzelnen Jahre nur Mittelwerte der 3 Tagestermine 7 a, 2 und 9 p aber im Mittel der 3 bis 5 Jahre auch Zahlen für die einzelnen Termine. Weil die einzelnen Stufen 3—7 kein grösseres Interesse darbieten, sind diese zu einer Gruppe zusammengeschlagen.

Stufe	h 0	g_1 1	g_2 2	Mittel 3—7	g_8 8	g_9 9	t 10	b	g	b_1	v
1881 . . .	22	5	3	3.3	3	8	42	62	36	56	32
82 . . .	22	6	6	3.8	4	7	36	56	42	48	36
83 . . .	18	5	5	3.7	7	7	40	61	42	50	34
Mittel	20.6	5.1	4.7	3.6	4.6	7.4	39.4	59.6	40.0	50.5	33.9
1891 . . .	17	4	5	4.5	7	7	37	61	46	52	39
92 . . .	11	4	5	4.5	9	7	42	69	47	57	39
93 . . .	12	4	4	5.2	7	8	39	66	49	55	41
94 . . .	12	5	6	3.8	7	9	42	66	46	52	36
95 . . .	15	5	8	3.7	6	7	42	63	43	49	33
Mittel	13.3	4.4	5.5	4.3	7.2	7.6	40.3	65.1	46.4	53.3	38.1
1904 . . .	18	5	4	3.1	3	5	49	65	33	49	25
05 . . .	17	5	4	3.0	2	5	51	67	32	49	24
06 . . .	23	5	3	3.0	4	5	45	61	32	50	27
Mittel	19.2	5.2	3.8	3.1	3.4	4.9	48.1	64.3	32.6	49.8	25.2

Stufe	h 0	g_1 1	g_2 2	Mittel 3—7	g_8 8	g_9 9	t 10	b	g	b_1	v
7a.	24	4	4	3.1	5	10	38	59	39	54	36
1881—83 2p.	13	6	6	4.7	5	8	40	63	47	50	37
9p.	25	5	5	3.1	4	5	41	57	34	47	28
7a.	13	4	4	3.9	8	8	44	68	43	57	36
1891—95 2p.	8	4	7	5.5	8	8	37	66	55	53	44
9p.	18	6	5	3.5	6	7	41	62	41	51	34
7a.	20	4	4	2.4	3	4	54	67	26	49	19
1904—06 2p.	12	6	5	4.0	4	5	46	67	41	49	30
9p.	26	5	2	2.8	3	5	45	60	30	50	25

Sehen wird erstens die ältesten Jahre an, finden wir diese durch grossen *g* und *v*, kleinen *t* gekennzeichnet. Die Ver grösserung von *g* auf Kosten von *t* kommt vor allem in g_9 zum Vorschein, denn diese Häufigkeitszahl erscheint um 2.5 % zu gross. Die mittlere Grösse der Zwischenstufen, b_1, ist schwankend, aber im Mittel etwa bei 50%, wie normal. Für die einzelnen Tagestermine finden wir wesentlich verschiedenen Abweichungen. Die Morgenbeobachtung weicht am meisten ab, hat *g* um 13% zu gross, wovon ganze 6% auf die Stufe 9 entfallen, der Rest auf die Stufen 3—8. Ganz trüber Himmel (*t*) ist dann 16% zu selten, heiterer (*b*) 4% zu häufig, *v* beinahe doppelt zu gross. Bei der Beobachtung um 2 p nähern sich die Zahlen schon mehr den normalen, am Abend noch mehr. Dann weicht nämlich *h* nur mit 1, *t* und *g* mit 4%, *v* mit 3% von den normalen Werten ab. Der tägliche Gang zeigt sich hierdurch in diesen älteren Zahlen sehr unnatürlich. Der Anteil des gebrochenen Himmels an der mittleren Bewölkung wäre nach *v* am Mittag kaum grösser als morgens und *t* würde vom Morgen zum Abend zunehmen statt abnehmen, was natürlicher erschiente. Die Häufigkeitskurven würden sich auch

von positiver Asymmetrie morgens ($b_1 > 50$) zu negativer abends ($b_1 < 50$) verändern.

In den 1890-er Jahren erweisen sich die Häufigkeitszahlen in einigen Beziehungen noch mehr abweichend, *g* ist noch 6% grösser als früher, *v* ebenso 4 % grösser, *t* ziemlich unverändert, aber *h* sehr klein, 6 % kleiner als 1904—06. Vor allem scheint die Stufe 8 jetzt häufiger geworden zu sein, so dass diese mehr als doppelt zu häufig erscheint. Der tägliche Gang verläuft schon durch *t*, *g* und *v* natürlicher als 10 Jahre früher, obwohl auch noch die Morgenbeobachtungen die grössten, die Abendbeobachtungen die kleinsten Abweichungen von den normalen Werten aufweisen.

Diese Abweichungen den älteren Beobachtungen sind wahrscheinlich auf die Rücksichtsnahme auf die Dichte der Wolken zurückzuführen. Wie ich früher hervorgehoben habe [1]), wollten ältere Beobachter noch viel später z. B. die Bewölkung 10 mit 3 oder 2 bezeichnen und an anderer Stelle [2]) konnte ich durch Häufigkeitszahlen genauer feststellen, dass Ci-S-Schleier beinahe ausschliesslich (in 90⁰/₀ der untersuchten Fällen) durch niedrige Stufen 1—5 bezeichnet wurden, obwohl man später die Bewölkung hierbei durch hohe Ziffern 6—10 sehr oft (in 56 ⁰/₀ der Fälle) ausdrückt. Da in anderen Fällen mit etwas dickeren Wolken, wie dünne A-Cu, S u. s. w., wahrscheinlich 10 zu 9, 8 u. s. w., 9 zu 8 u. s. w. reduziert wurde, versteht man, dass hierdurch *g* auf Kosten von *t* vergrössert wurde und dass vornehmlich die höchsten Zwichenstufen 9 und 8 in Häufigkeit zunahmen. Der veränderte tägliche Gang und die verschiedene Abweichungen zu den 3 Terminen beruhen sicherlich auf den Wechsel der Beobachter, denn gewöhnlich waren verschiedene Beobachter zu verschiedenen Tagesstunden tätig. Etwas unerwartet ist jedoch, dass nicht auch die niedrigen Stufen 1 und 2 häufiger ausfielen. Noch schwerverständlicher scheint es dass *h* in den 1890:en Jahren so stark verkleinert auftritt. Eine Ursache könnte freilich jedoch darin

[1]) Met. Zeitschr. 1910 S. 243.

[2]) Bidrag till kännedom af Finl. natur och folk H. 72 N:o 5 S. 10.

liegen, dass die neuen Beobachter vielleicht jetzt eine grössere Aufmerksamkeit den niedrigen Teilen des Himmels widmeten. Hierdurch wird im allgemeinen wie bekannt die Bewölkung grösser ausfallen und auch g vergrössert werden, weil ja kleinere Wolken und Lücken, die vornehmlich am Horizonte auftreten, überschätzt werden. Jedoch scheint g_1 nicht vergrössert, was zum Teil auf eine Vorliebe für 2 (ähnlich wie für andere gerade Zwischenstufen) beruhen könnte. Ich will nicht weiter auf diese ältere Schätzungen eingehen, mache nur noch darauf aufmerksam, dass der Beobachter T. W., welcher u. a. die Schätzungen um 5 p 1904—06 ausführte, schon seit den 1880:er Jahren an der

Zahl der Stufen um 7 a.

Stufe	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1898 . . .	45	20	20	15	9	9	10	14	13	25	185
99 . . .	51	11	14	12	16	7	14	12	20	19	189
1900 . . .	51	23	18	12	7	3	10	14	19	24	184
01 . . .	70	13	19	19	10	6	19	16	17	17	159
02 . . .	52	22	14	11	8	5	9	15	18	20	191
03 . . .	41	11	17	8	7	10	6	13	10	11	231
04 . . .	69	15	12	13	9	2	8	12	11	14	201
05 . . .	70	11	16	13	3	6	5	16	10	14	201
06 . . .	80	17	11	11	7	10	12	4	9	15	189
07 . . .	79	6	13	20	8	3	2	1	7	11	215
08 . . .	87	12	11	4	4	4	11	6	10	29	188
09 . . .	63	14	12	4	9	5	7	10	11	22	208
10 . . .	66	10	9	10	6	3	12	5	12	18	214
11 . . .	90	9	12	5	6	11	2	5	7	13	205
12 . . .	74	4	4	3	3	6	5	2	10	7	248
13 . . .	104	5	7	8	6	3	1	1	4	10	216
14 . . .	55	18	9	14	4	8	3	8	9	19	218
15 . . .	41	15	8	15	6	7	2	10	7	27	227
16 . . .	53	13	3	3	4	9	3	5	6	5	260
17 . . .	99	14	9	5	5	3	9	2	8	17	194

Zentralanstalt tätig war. Darum zeigten die Zahlen auch Ähnlichkeit mit denjenigen in den 1890:er Jahren, *g* gross und *h* klein, jedoch *t* ziemlich normal, eine relative Überschätzung also (u. a. auch von Nebeln).

3. *Die Schätzungen 1898—1917.*

Zur Charakterisierung der späteren Bewölkungsschätzungen in Helsingfors habe ich die Häufigkeit der einzelnen Stufen zu den 3 Hauptterminen in den 20 Jahren 1898—1917 berechnet und werden die Zahl der Beobachtungen in den 3 Tabellen S. 25—27 mitgeteilt.

Zahl der Stufen um 2 p.

Stufe	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1898 . . .	50	25	13	11	13	7	20	13	19	21	173
99 . . .	30	26	23	17	10	9	14	20	30	27	159
1900 . . .	30	28	28	22	15	8	14	20	12	21	167
01 . . .	46	32	25	27	8	17	16	11	22	16	145
02 . . .	38	21	17	20	21	17	19	15	19	17	161
03 . . .	40	29	14	6	10	13	12	16	16	22	187
04 . . .	39	18	25	24	6	6	12	26	16	21	173
05 . . .	36	25	16	15	14	9	7	25	14	23	181
06 . . .	58	28	18	20	18	5	16	15	16	16	155
07 . . .	48	26	19	11	13	11	9	14	20	22	172
08 . . .	64	25	12	18	13	9	22	15	13	24	151
09 . . .	32	18	20	15	15	13	20	19	16	25	172
10 . . .	37	11	5	17	15	16	16	15	22	25	186
11 . . .	41	26	16	15	16	15	14	22	18	25	157
12 . . .	48	12	7	17	15	10	11	23	9	18	196
13 . . .	59	21	14	19	14	10	7	17	16	23	165
14 . . .	44	15	7	20	22	19	10	15	15	27	171
15 . . .	33	15	12	10	19	13	17	17	15	31	183
16 . . .	26	18	13	17	13	11	10	10	17	27	204
17 . . .	57	20	23	16	13	12	10	5	13	32	164

Wie sofort zu finden ist, weisen die Zahlen zu verschiedenen Zeiten wechselnde Eigenschaften auf. Sieht man den Jahresberichten und Beobachtungsbögen nach, findet man auch, dass die Beobachter oft gewechselt haben und dass gleichzeitig die Zahlen sich verändert haben. Der besseren Übersicht halber habe ich noch in 2 anderen Tabellen sowohl die Namen der Beobachter durch Verkürzungen wie auch die in Prozenten ausgedrückten Grössen b, h, g, t, b_1 und v angeführt. Ausserdem ist für die Prüfung der am meisten kennzeichnenden Grösse g der Unterschied gegeben zwischen dem Wert von g um 2 p und dem Mittelwert der beiden

Zahl der Stufen um 9 p.

Stufe	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1898. . .	65	23	22	12	7	4	10	11	17	17	176
99. . .	56	22	22	16	12	6	11	16	14	26	264
1900. . .	72	18	20	12	13	5	6	11	14	24	170
01. . .	82	35	21	19	17	4	6	11	15	13	142
02. . .	67	26	12	16	7	9	12	10	17	20	169
03. . .	75	14	9	12	11	12	8	12	18	14	180
04. . .	90	25	9	13	13	3	9	17	8	18	161
05. . .	77	19	9	22	10	7	9	5	11	17	179
06. . .	112	12	9	17	11	3	4	11	16	22	148
07. . .	110	8	13	11	3	8	2	2	3	11	194
08. . .	120	13	7	9	10	4	1	6	14	12	170
09. . .	90	14	9	6	7	8	6	7	5	7	206
10. . .	72	9	11	20	6	8	2	9	12	11	205
11. . .	114	15	9	6	12	7	13	9	5	11	164
12. . .	85	4	10	5	15	9	4	5	7	5	217
13. . .	125	8	12	3	5	7	5	4	3	13	180
14. . .	66	25	16	12	5	14	2	9	17	10	189
15. . .	67	23	19	13	5	11	6	7	9	11	194
16. . .	74	17	5	8	4	5	5	8	11	7	222
17. . .	112	17	11	7	2	6	5	4	8	9	184

Jahr	Beobachter		b			h			g			t		
	7a u. 9p	2p	7a	2p	9p	7a	2p	9p	7a	2p	9p	7a	2p	9p
1898	M. P.	A. H.	69	67	64	12	14	18	**37**	39	34	51	47	48
99	»	U.	70	69	65	14	8	15*	34	**48**	**40**	52	44	45
1900	»	»	69	67	63	14	8	20	36	46	34	50	46	47
01	»	»	63*	61*	55*	19	13	22	**37**	**48**	39	44*	40*	39*
02	»	»	69	66	64	14	10	18	34	47	35	52	43	46
03	W.	Ö.	76	70	66	11	11	21	26	38	30	63	51	49
04	O. J.	O. J.	68	68	59	19	11	25	26	42	31	55	47	44
05	»	H. H.	68	70	63	19	10	21	26	40	30	55	50	49
06	»	»	65	62	56	22	16	31	26	42	29	52	42	41
07	H. J.	»	68	67	60	22	13	30	20	40	17-	58	47	53
08	L. L. u. E. H.	»	66	62	57	24	18	33	25	41	21	51	41	46
09	E. H.	»	71	70	65	18	9	25	26	44	19	57	47	56
10	E. H. u. El. L.	»	72	72	68	18	10	20	23	39	24	59	51	56
11	El. L.	»	65	66	56	25	11	31	19	46	24	56	43	45
12	»	»	75	72	68	20	13	23	12*	33*	18	68	54	59
13	El. u. E. L.	»	65	66	57	**28**	**16**	**34**	13	39	15*	59	45	49
14	K. P.	»	74	68	65	15	12	18	25	41	30	60	47	52
15	»	»	76	73	65	11*	9	18	27	41	29	62	50	53
16	Y. L.	»	**78**	**75**	**70**	**14**	7*	20	14	37	19	**71**	**56**	**61**
17	»	»	63*	65	59	27	16	31	20	39	19	53	45	50
Normal			68	68	61	20	12	26	25	40	29	55	48	46

übrigen Schätzungen, welche mit vereinzelten Ausnahmen immer von einem zweiten aber am Morgen und Abend demselben Beobachter ausgeführt werden. Alle Grössen sind in Zehntel Prozente ausgerechnet, aber hier im ganzen abgerundet.

Jahr	(7a+9p):2		7a	2p	9p	7a	2p	9p	7a	2p	9p	2p — (7a + 9p) : 2	
	g	b—t	b—t			b_1			v			g	b—t
1898 . . .	35	17	18	20	16	50	51	47	**27**	30	25	4*	3*
99 . . .	37	**19**	**19**	**25**	**20**	54	52	50	26	**37**	**31**	11	6
1900 . . .	35	18	18	20	17	52	45*	50	27	31	26	11	3*
01 . . .	**38**	18	**19**	21	16	52	45*	41	31	35	29	10	4
02 . . .	35	17	17	23	17	51	50	50	25	35	27	12	6
03 . . .	28	15	12	19*	17	48	50	**56**	16	27	26	10	4
04 . . .	29	14	13	21	15	49	50	48	19	31	25	14	7
05 . . .	28	14	13	20	14	50	50	47	19	29	22	13	7
06 . . .	28	14	13	19	16	49	46	55	20	31	20	14	5
07 . . .	18	8	9	20	7*	46*	50	44	14	30	12	21	11
08 . . .	23	13	14	21	11	**58**	50	51	22	34	19	18	8
09 . . .	22	11	14	23	9	54	52	46	20	33	13	22	12
10 . . .	24	13	13	21	12	**58**	**54**	48	19	29	17	15	8
11 . . .	22	10	9	23	12	54	51	48	14	35	20	**24**	13
12 . . .	15	8	7	19*	8	**58**	51	48	9	26	12*	18	11
13 . . .	14*	17*	6*	21	8	49	**54**	49	9	32	14	**24**	**14**
14 . . .	28	14	14	21	13	56	51	44	19	31	20	13	7
15 . . .	28	13	14	23	12	53	56	42*	18	31	18	13	10
16 . . .	14	8	7	20	9	45	53	47	8*	26*	13*	20	12
17 . . .	19	9	10	20	8	51	50	43	16	30	14	20	10
Normal	27	14	13	21	15		51		19	30	25	13	6

Wie schon erwähnt und hier näher zu ersehen ist, hat der Beobachter H. H. die längste Beobachtungsreihe aufzuweisen und zwar in den 13 Jahre 1905—17 um 2 p. Wir fanden schon früher, dass H. H. etwa so wie O. J. schätzt und das-

selbe wird hier auch bestätigt. Die Vorliebe für 3 und 7 ist in mehreren (5) Jahren zu ersehen und das Meiden von 5 ist wenigstens anfangs ziemlich deutlich. Es scheint aber auch hervorzugehen, dass H. H. nicht die ganze Zeit seine Schätzungsweise beibehalten hat. Vor anderen scheinen die Stufen 1, 5 und 9 dieses zu bezeugen. Um dieses besser darzuthun, habe ich die 13 Jahre in Gruppenmittel von 4, 5 und 4 Jahren vereinigt und fand so folgende Gruppenmittel, zu welchen noch das allgemeine Mittel hinzugefügt sei, sämtliche in Prozenten ausgedrückt.

Die Schätzungen H. H:s 2 p 1905—17.

Stufe Grösse	0 h	1 g_1	2 g_2	3 g_3	4 g_4	5 g_5	6 g_6	7 g_7	8 g_8	9 g_9	10 t	g	b	b_1	v
1905—08 . .	14.1	7	4	4	4	2	4	5	4	6	45.1	40.8	65.1	49.5	30.8
09—13 . .	11.9	3	3	5	4	3	4	5	4	6	48.0	40.2	69.4	52.6	31.0
14—17 . .	11.0	4	4	4	5	4	3	3	4	8	49.5	39.6	70.2	52.3	29.4
1905—17 . .	12.3	5.5	3.8	4.4	4.2	3.2	3.6	4.5	4.3	6.7	47.6	40.1	68.3	51.8	30.4

Im Laufe der Zeit hat also die Stufe 1 mit 3 % abgenommen, die Stufen 5 und 9 mit 2 % zugenommen. Man sieht aber auch, dass *h* ähnlich wie g_1 mit 3 % abgenommen und im Gegenteil *t* mit 4 % gewachsen ist. Hier scheinen, also die Stufen 1 und 9 von den naheliegenden Endstufen abhängig zu sein. Versucht man aber die Häufigkeit dieser Stufen 1 und 9 nach derjenigen von 10 (*t*) zu ordnen, findet man keine Abhängigkeit. Dagegen ordnet sich die Stufe 1 wirklich nach der Grösse von *h*, indem die 3 kleinsten *h* die mittlere Häufigkeit 16, die 3 grössten *h* die Häufigkeit 24 für die Stufe 1 aufweisen. Noch grösser wird der Unterschied (24—13), wenn man die 3 heitersten Jahre (nach *b*) mit den 3 trübsten vergleicht. Im Mittel von verschiedenen Kombinationen fand ich, dass die Stufe 1 mit 3 % zunimmt, wenn *h* mit 10 % wächst. Da die obige Vergrösserung im Laufe der Zeit viel beträchtlicher ist, müssen wir schliessen, dass

der Beobachter seine Schätzungsweise geändert hat. Dasselbe gilt in noch höherem Grade in Betreff der Stufen 5 und 9. Die Häufigkeit der Stufen 1 und 5 ist wahrscheinlich richtiger geworden. Ob dieses auch für die Stufe 9 gilt, muss ich dahingestellt lassen. Jedenfalls dürfte H. H. nicht Rücksicht auf die Dichte nehmen, denn t hat ja zugenommen, g ziemlich unverändert geblieben (u. a. auch die Stufe 8).

Da wir kein Mittel besitzen die Reihe 1905—17 um 2 p zu korrigieren, wollen wir dieselbe als richtig und homogen betrachten. Nach dieser finden wir, dass in Helsingfors zu dieser Tageszeit 12.3 % ganz heiterer, 47.6 % ganz trüber und 40.1 % gebrochener Himmel vorkommt. Nach der Formel 5) wäre $b = 67.6$ 0.5 % niedriger als der beobachtete Wert. Die mittlere Bewölkung der Stufen 1—9 oder b_1 ist im Mittel 51.8 % und der Anteil dieser Stufen an der totalen Bewölkung (oder v) ist 30.4 %. Von Interesse sind auch die Schwankungen dieser Grössen. Die Extreme und die mittleren Abweichungen in den 13 Jahren waren:

	h	g	t	b	b—t	b_1	v
Maximum	17.5	45.8	55.9	75.4	23.3	55.8	35.2
Minimum	7.1	33.3	41.3	61.7	18.6	46.3	25.6
Schwankung	10.4	12.5	14.6	13.7	4.7	9.5	9.6
Mittlere Abweichung	2.7	2.2	3.4	3.5	1.2	1.9	2.1
Mittel	12.3	40.1	47.6	68.3	20.7	51.8	30.4

Die grössten Schwankungen weisen t und b auf, und sind somit für Prüfungen am wenigsten geeignet. Nach der mittleren Abweichung, welche sicherere Aufschlüsse als die totale Schwankung zulässt, ist die Stabilität von h schon grösser als für t, für g aber am grössten. Aber am wenigsten schwankend ist der Unterschied $b—t$, indem diese Schwankung nur weniger als $^1/_3$ von derjenigen von b und t beträgt. Die Grössen b_1 und v, welche aus $b—t$ abgeleitet sind, zeigen darum auch eine verhältnismässig grosse Stabilität, v eine

kleinere, weil die schwankende Grösse b im Nenner eingeht. Die kleinere Schwankung dieser 3 Grössen $b—t$, b_1 und v spricht für die Anwendung dieser Grössen, besonders von $b—t$, bei der Kritik der Beobachtungen.

In den übrigen 7 Jahren 1898—1904 der Beobachtungsreihe um 2 p finden wir 3 Jahre 1898, 1903 und 1904, die etwa ähnliche Werte, u. a. auch für g und v, wie die späteren aufweisen. In allen diesen Jahren beobachteten wissenschaftliche Beamte der Zentralanstalt, A. H., W. und O. J. Als Mittel dieser 3 Jahre erhält man sehr genau dieselben Werte, die wir für 1905—17 erhielten. Dieses spricht also für die Zuverlässigkeit dieser Werte, weshalb wir sie als normal betrachten wollen. Dagegen sind die Werte U:s für 1899—1902 in mehreren Hinsichten ganz abweichend, g in sämmtlichen Jahren übernormal, Mittel 47 statt 40, v ebenso durchgehends gross, Mittel 34 statt 30, und t im Mittel 5 % zu klein. Am meisten sind die Werte ähnlich mit denjenigen, die wir für die ältesten Jahre 1881—83 erhalten haben. Wir stellen noch Mittelwerte für die einzelnen Stufen und für die verschiedenen um 2 p tätigen Beobachter zusammen, die gleichartigen für 1898, 1903 und 1904 jedoch zusammengeschlagen (Die Zahlen in $^0/_{00}$).

Jahre	Beob.	h 0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	t 10	g 1—9
1899—1902 .	U.	99	73	64	59	37	35	43	45	57	55	431	470
1898, 03—04	A. H., Ö. u. O. J.	118	66	47	37	26	24	40	50	47	58	486	396
1905—17 . .	H. H.	123	55	38	44	42	32	36	45	43	67	476	401
A. H., Ö., O. J. u. H. H.		119	63	45	39	30	26	39	49	46	60	484	397

In der Reihe U. sind vornehmlich die Stufen 2, 3 und 8 zu häufig, die Stufe 1 gleich häufig wie bei A. H. und Ö. (O. J. gibt nähmlich nur 5 $^0/_0$ wie H. H.). Diese wissenschaftlichen Beobachter weisen 1 und 2 etwa 1 % häufiger, 4 und 9 1 % seltener als H. H. auf. Die älteren Beobachtungen

H. H:s würden also besser als die neueren mit denjenigen für 1898, 1903 und 1904 übereinstimmen. Von Interesse ist auch, dass die Stufe 5 bei den Schätzungen von U., H. H. und O. J. (7 a u. 2 p) anfangs seltener als später auftritt, so dass ihre Seltenheit zum Teil als ein Fehler betrachtet werden muss, der mit zunehmender Übung wegfällt.

Für die Schätzungen um 7 a und 9 p finden wir, dass die häufigen Wechsel der Beobachter beinahe immer erkennbare Störungen in den Zahlenreihen hervorbringen. Der Beobachter M. P. in den Jahren 1898—1902 hat offenbar zu grosse g, b—t und v, zu kleine h und t geliefert. Weil wir die Schätzungen zu allen 3 Terminen in den Jahren 1904—06 als gleichartig annehmen können, sollte g von Morgen zum Mittag um 15 % zunehmen, nachmittags 11 % abnehmen. Da der richtige Wert für 2 p zu 40 % gefunden wurde, wäre derselbe für 7 a etwa zu 25, für 9 p zu 29 % anzusetzen. Also wäre g in 1898—1902 um 7 a 11, um 9 p 7 % zu hoch. Das Jahr 1898 allein mit den offenbar richtigen Schätzungen um 2 p würde die Fehler in g zu 13 % morgens und 6 % abends ergeben. Die kleine Zunahme (2 %) zwischen 7 a und 2 p von g, b—t und v in diesem Jahre ist unnatürlich, noch mehr die entsprechende Zunahme von h. Nach 1904—06 sollte h vormittags um 8 % abnehmen, nachmittags um 13 % zunehmen und also um 7 a etwa 20 %, um 9 p etwa 26 % sein. Also wäre h nach M. P. morgens 5 und abends 7 % zu niedrig ausgefallen. Ebenso finden wir die Fehler für t zu 5 % (zu niedrig) um 7 a, aber um 9 p sehr klein, 1 % (0.6). Nach der Formel 10) würden die Mittelwerte b hierdurch 0 bezw. 3 % zu hoch ausgefallen. Die Schätzungen der Jahre 1898—02 sind also bei den beiden Beobachtern etwas verschiedener Art (in h und t), obwohl sie gleichartige g geliefert haben. Der zufällige Beobachter W. des Jahres 1903 hat bedeutende Änderungen der Häufigkeitszahlen hervorgebracht. So weit die Mittagsschätzungen Ö:s richtig sind, dürfte jedoch h in diesem Jahre um 7 a zu niedrig, t zu gross sein. Um 9 p ist wiederum b_1 stark unsymmetrisch nach der positiven Seite. Offenbar hat also W. die Bewöl-

kung überschätzt. Ein anderer zufälliger Beobachter des Jahres 1907 weist im Gegenteil negativ unsymmetrische b_1 auf, d. h. ein starkes Überwiegen der niedrigen Stufen, ausserdem zu kleine g und zu grosse t sowohl als h, besonders abends auf. Von den Stufen über 5 kommen beinahe ausschliesslich 10 und 9 vor. Die Schätzungen müssen überhaupt als roh bezeichnet werden. Der Beobachter E. H., welcher die Schätzungen 7 a und 9 p in etwa 2 Jahren seit Mitte 1908 ausführte, hat etwas normalere Werte erhalten. Jedoch fällt t abends etwa 9 % zu gross, g etwa gleich viel zu klein aus. Auch b—t und v sind zu dieser Zeit klein, b_1 nimmt wiederum von Morgen zum Abend sehr stark ab, von positiver zu negativer Asymmetrie. Für diejenigen Vergleiche, die ich früher (l. c.) mit anderen Schätzungen in Helsingfors in den Jahren 1908—10 angestellt habe, wird diese Schätzungen von besonderer Bedeutung und ich komme später hierauf noch zurück.

Der folgende Beobachter, El. L., in den Jahren 1910—13, hat die grössten Gegensätze zu denjenigen 1897—02 aufzuweisen. Gebrochener Himmel (g) kommt extrem wenig vor, im Vergleich mit dem Beobachter H. H. um 2 p etwa 8 % zu wenig. Diesem Defizit entspricht ein Überschuss sowohl in h wie in t, so dass das Mittel hiervon ungefähr unberührt wird. Meistens ist b_1 auch sehr wechselnd und unsymmetrisch, b—t und v wie g sind zu klein. In den Jahren 1914—15 folgt wiederum ein Beobachter K. P., der ziemlich normale g erhalten hat, etwa 6 % zu hohe t und 8 % zu kleine h. Wir müssen eine Überschätzung annehmen und nach Formel 10) b als etwa 5 % zu gross schätzen. Der Beobachter Y. L. hat wiederum beinahe eben so kleine g wie El. L. erhalten, nach unseren Normen etwa 9 % zu klein. Beinahe gleich viel zu hoch sind die t, h aber ziemlich so gross, wie die von uns als normal angenommenen Werte im Vergleich mit den Mittagsbeobachtungen sind. Die Mittel b_1 scheinen hierdurch meistens 2 % zu hoch (1917 7 a ausgenommen).

Beobachter	h 0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	t 10	g	Nach H. H. 2p t	Nach H. H. 2p g
	Mittelwerte: (7a + 9p) : 2 in ‰													
M. P.	168	**57**	50	40	29	16*	30	36	45	**56**	473	359	475	402
O. J.	232	40	31	**43**	22	18*	20	24	32	**46**	490	276	465	414
E. H.	226	33	28	22	20	14*	14*	20	26	40	556	217	455	421
El. L.	249	22	**24**	13	**24**	22	16	14*	20	24	572	179	483	396
K. P.	156	56	36	37	14	**28**	9*	24	29	**46**	566	278	284	410
Y. L.	230	42	19	16	10*	**16**	15	13	22	28	589	181	505	382
Mittel	210	42	31	28	20	19	17*	22	29	40	542	248	478	404
Jahre	Unterschiede 9p—7a in ‰													
1898—02	40	**19**	6	3	4	—1	—9	—7	— 6	— 3	—48	6	—	—
1904—06	53	5	—12	**20**	15	—8*	—5	—5	11	13	—87	34	—	—
1908 VII—10 XI	73	— 2	— 3	**14**	— 3	4	—9*	7	1	— 36*	—44	—29	—	—
1911—12	48	8	4	4	**25**	—1	13	9	— 7	— 5	—97	49	—	—
1914—15	51	**21**	25	— 6	0	**13**	4	—3	14	— 34	—85	34	—	—
1916—17	50	10	6	10	— 4*	—1	—2	6	4	—11	—68	18	—	—
Mittel	52	10	4	7	6	2	—1*	1	3	—13	—72	19	—	—

Um die Verteilung auf die Zwischenstufen bei den verschiedenen Beobachtern übersichtlicher vergleichen zu können, habe ich noch in der Tabelle auf S. 35 für diejenigen 6 Beobachter, die um 7 a und 9 p wenigstens 2 Jahre die Schätzungen ausgeführt haben, die 2—5 jährigen Mittelwerte in Promille ausgerechnet, wobei die Morgen- und Abendbeobachtungen zusammengeschlagen sind. Da es aber in mehreren Hinsichten von Interesse ist, auch die Veränderungen vom Morgen bis zum Abend anzusehen, habe ich auch die Unterschiede zwischen die Werte um 9 p und 7 a angeführt.

Um die in Wirklichkeit stattgefundene Änderungen der zwei Hauptgrössen *t* und *g* in den verschiedenen Zeitabschnitten beurteilen zu können, sind oben auch die ensprechenden Werte für 2 p angeführt. Bei M. P. ist jedoch das 13-jährige Mittel der Schätzungen H. H:s statt der offenbar unrichtigen U:s verwendet. Die schon erwähnten Eigenschaften der Hauptstufen 0, 1—9 und 10 sind hier einleuchtend, u. a. die übereinstimmend niedrigen Werte von *g* in den Reihen E. H:s, El. L:s und Y. L:s, die hohen bei M. P. Die höchsten Häufigkeitswerte der Stufen 1—3 kommen bei den Reihen M. P:s und K. P:s vor, bei jenen sind übrigens alle Stufen mit Ausnahme von 5 extrem häufig. Eine auffallend kleine Krümmung der Häufigkeitskurven ist bei El. L. ersichtlich, die grösste bei K. P. Bei jenen Reihen können die Zwischenstufen abgesehen von Störungen als gleich häufig angesehen werden, bei den übrigen beträgt aber die Steigung von der Mitte (nach dem Mittel für 4—6) zu den äusseren Stufen (1 und 9) 2 bis 3 % (3 bei M. P. und K. P.) oder diese sind etwas mehr als verdoppelt, bei K. P. 3-mal so häufig wie die mittleren vertreten. Durch das Verhältnis gemessen ist diese Krümmung etwas stärker als am Tage um 2 p (vgl. S. 30).

Alle Reihen weisen mehr oder weniger starke Störungen bei einigen Stufen auf. Am regelmässigsten steigen die Kurven M. P:s und E. H:s von der Mitte bis zu den Enden. Vergleichen wir die Störungen mit denjenigen, welche die

Unterschiede 9 p—7 a in der zweiten Hälfte der Tabelle aufweisen, so finden wir, dass diese oft gleichartig sind. Kommt mit anderen Worten eine Stufe verhältnismässig häufig oder selten vor, so tritt diese Störung um 9 p deutlicher als um 7 a auf. So sieht man z. B. die Vorliebe für 3 bei O. J., für 4 bei El. L., für 5 bei K. P. in den beiden Zahlenreihen deutlich durch grosse Häufigkeitszahlen und grosse positive Unterschiede 9 p—7 a gekennzeichnet. Ebenso entspricht einer zu kleinen Häufigkeit, z. B. für die Stufe 6 bei El. L., für 4 bei Y. L. u. s. w., eine negative Differenz 9 p—7 a, d. h. der Mangel tritt deutlicher um 9 p als um 7 a hervor. Diese Tatsache ist offenbar auf die Lichtverhältnisse zurückzuführen, denn um 9 p bei der beträchtlich grösseren Dunkelheit ist die Schätzung bedeutend schwieriger als um 7 a und somit Störungen viel wahrscheinlicher.

Sehen wir noch diese Unterschiede 9 p—7 a in grösseren Zügen an, so finden wir, dass alle Beobachter abends grössere h und kleinere t gefunden haben. Fünf von diesen ergeben auch um 9 p grössere g als um 7 a; nur E. H. fand das Gegenteil. Die drei Beobachter O. J., El. L. und K. P. weisen die am meisten übereinstimmenden Änderungen von h, g und t auf und beträgt die Zunahme von h etwa 5 %, von g etwa 4 und die Abnahme von t etwa 9 %, ungefähr so viel, wie wir oben als normal nach O. J. angenommen haben. Weiter finden wir, dass die zu 0 und 10 nächsten Stufen im allgemeinen denselben täglichen Gang wie jene Endstufen haben. Besonders stark nehmen die Stufen 1 und 2 bei M. P. und K. P. von 7 a zu 9 p zu, und bei denselben sind diese Stufen auch häufiger als bei den übrigen Beobachtern, h wiederum kleiner. Wir haben darum zwei Gründe anzunehmen, dass die grossen g_1 und g_2 auf Schätzungsfehlern beruhen und zwar scheint hier eine Überschätzung von kleinen Wolken am Horizonte vorhanden zu sein. Ähnlich ist es auch bei dem Beobachter U. um 2 p., indem die Zahlen ähnliche Abweichungen zeigen (vgl. S. 32). Gleichartige Schlüsse kann man nicht ebenso sicher für die Stufen 9 und 8 ziehen. Nur bei meinen Beobachtungen (O. J.) scheinen die grossen

9 p—7 a für diese Stufen und das verhältnismässig kleine t darauf deuten, dass kleine Lücken übergeschätzt sind. Rücksicht auf die Dichte der Wolken glaube ich nämlich nicht genommen zu haben. Andeutungen zu gleichen Verhältnissen sieht man bei M. P., denn für die Stufe 9 ist 9 p—7 a im Vergleich mit naheliegenden Stufen hoch, die Häufigkeit von 9 gross, von 10 klein. Aber E. H. und K. P. weisen wiederum vorwiegend morgens grosse g auf und hier ist wahrscheinlich eine derartige Fehlschätzung vorhanden, dass von E. H. abends zu viel 10 statt 9 wie auch 0 statt 1 und 2 (also zu rohe Bestimmungen) gesetzt sind, von K. P. wiederum lieber zu viele 9 statt 8 morgens, also eine Überschätzung, wie auch die überhaupt grossen g_1 und g_2, die kleinen h und grossen b angeben. Sieht man die mittleren Unterschiede 9 p—7 a an, so findet man, dass jedenfalls (so weit nicht durchgehends Schätzungsfehler vorliegen) die kleinen Stufen abends, die hohen morgens verhältnismässig vorwiegen. Dasselbe wird schon durch die Abnahme von b_1 von 7 a bis 9 p angegeben und beträgt für die hier verwendeten Jahren nach Tabelle S. 29 im Mittel 5 %.

4. *Übersicht, korrigierte Werte und der jährliche Gang.*

Um nochmals die Fehler in den Hauptgrössen h, g, t und b für sämmtliche Schätzungen nach 1880 in Helsingfors überblicken zu können, seien hier die Jahren zu einigen Gruppen mit gleichartigen Werten zusammengeschlagen. Wie schon aus obigen hervorgegangen ist, haben die Beobachter E. H., El. L. und Y. L. ziemlich ähnliche Werte gefunden, weshalb die Jahre 1908—13 und 1916—17 vereinigt sind. Zu dieser Gruppe V kann man, wie leicht zu ersehen ist, auch das Jahr 1907 (H. J.) führen, das Jahr 1903 (W. und Ö.) am besten wiederum zu denjenigen 1914—15, wenn K. P. beobachtet hat. Diese Gruppe von 3 Jahren nehmen wir als die letzte, VI, sonst ordnen wir diese nach der Zeit. Die Abweichungen von unseren normalen Werten sind:

Gruppe	Jahr	h			g			t			b		
		7a	2p	9p	7a	2p	9p	7a	2p	9p	7a	2p	9p
I	1881—83	4	1	—1	14	7	5	—17	— 8	—5	—7	—5	—4
II.	1891—95	—7	—4	—8	18	15	12	—11	—11	—5	0	—2	1
III [1]) . . .	1898—02	—5	—2	—7	11	7	7	—5	— 5	—1	0	—2	1
IV	1904—06	0	0	0	1	1	1	—1	— 2	—1	—1	—1	—2
V	1907—13, 16—17	1	1	1	—6	0	—9	4	0	7	1	0	1
VI	1903, 14—15	—8	—1	—7	1	0	—2	7	1	5	8	2	4
Normal		20	12	26	25	40	29	55	48	46	68	68	61

Gemäss unserer Ableitung der normalen Werte zeigt die Gruppe IV nur unbedeutende Abweichungen und dasselbe gilt für 2 p in den folgenden Gruppen V und VI. Wie schon durch frühere Zahlen wird hierdurch angegeben, dass schon 3-jährige Mittel ziemlich sicher sind und dass also keine grösseren natürlichen Änderungen der Zahlen im Laufe der Zeit angenommen werden können. Alle übrigen hier angeführten Gruppenmittel zeigen indessen mehr oder weniger beträchtliche Abweichungen. Die Häufigkeit des trüben Himmels steigt im Mittel der 3 Beobachtungen fortwährend von der ersten zu der letzten Gruppe, also im allgemeinen mit der Zeit. Von der Gruppe II zu V nimmt g dagegen im Laufe der Zeit stetig ab, wogegen die älteste Reihe I in Betreff g mehr Ähnlichkeit mit III, die Gruppe VI mit IV aufweist. Merklich ist, dass h wiederum wie t von II zu V zunimmt, wodurch b, das von $t—h$ abhängt $\left(\text{etwa} = 50 + \frac{t-h}{2}\right)$ in dieser Zeit ziemlich unverändert bleibt. Die Ursachen zu diesen Eigenschaften der Reihen II—V liegen wohl teils darin, dass man im Laufe der Zeit immer weniger die niedri-

[1]) In dieser Gruppe ist das Jahr 1898 um 2 p ausgelassen, weil, wie erwähnt, dieser Termin zu den späteren Gruppen gehört.

geren Teilen des Himmels beobachten wollte oder sogar konnte. Eine Unterschätzung der Bewölkung kommt am deutlichsten bei den ältesten Beobachtungen vor, hauptsächlich wegen Rücksichtnahme auf die Dichte, eine Überschätzung wiederum in der Gruppe VI.

Korrigierte Werte für Helsingfors.

Jahr	h		g		t		b		v	
	Beo.	Abw.	Beo.	Abw.	Beo.	Abw.	Beo.	Abw.	Beo.	Abw.
1903 . . .	18	4	29	—2	53	—1	68	—3	22	—0
04 . . .	18	0	33	0	49	0	66	1	26	1
05 . . .	17	0	31	—1	52	1	68	1	24	1
06 . . .	23	0	33	1	44	—1	60	—1	27	3
07 . . .	20	—2	31	5	49	—4	64	—1	23	4
Mittel	19.2	0.4	31.4	0.6	49.4	—1.0	65.1	— 0.6	24.4	1.8
1908 . . .	25	0	32	3*	43*	—3	59*	—3	25	0
09 . . .	16	—1	35	5	49	—4	66	—3	26	4
10 . . .	17	1	30	1	53	—2	68	—3	22	0
11 . . .	18	—4	37	9	45	—3	64	2	30	7
12 . . .	20	1	24*	3	56	—4	68	—4	18	2
Mittel	19.2	—0.6	31.6	4.2	49.2	—3.2	65.0	—2.2	24.2	2.6
1913 . . .	23	—3	30	8	47	—4	62	—1	24	6
14 . . .	19	4	32	0	49	—4	65	—4	25	2
15 . . .	16	3	32	0	52	—3	68	—3	24	2
16 . . .	14*	0	29	6	58	—5	72	—2	19*	2
17 . . .	23	—2	30	4	47	—2	62	—0	24	4
Mittel	19.0	0.4	30.6	3.6	50.6	—3.6	65.8	—2.0	23.2	3.2
Allg. Mitt.	19.1	0.1	31.2	2.8	49.7	—2.6	65.3	—1.6	23.9	2.5

Würde man gemäss unserer bisherigen Annahme die Mittagsbeobachtung seit 1903 als richtig betrachten und die Werte auf Tagesmittel nach dem täglichen Gange der

Jahre 1904—06 korrigieren, dann würde man für die letzten 15 Jahren umstehende korrigierte Daten und deren Abweichungen von den beobachteten erhalten. Die Werte b sind hierbei nach $b = t + \frac{1}{2}\, g \left(\text{oder} = 50 + \frac{t-h}{2}\right)$ und v hieraus berechnet, b also durchgehends zu 50 % angenommen.

Diese Zahlen sind augenscheinlich homogen, obwohl sie möglicherweise noch mit etwa konstanten Beträgen zu ändern wären. Das trübste Jahr 1916 zeigt die kleinsten h und v, die grössten t und b. Ein anderes trübes Jahr 1912 hat das kleinste g und auch ein sehr kleines v, aber normales h. Das heiterste Jahr 1908 hat die kleinsten t und b, das grösste h, aber normales g, und ähnlich verhalten sich andere heitere Jahre wie 1906, 1913 und 1917, wogegen das verhältnismässig heitere Jahr 1911 die grössten g und v, das zweitmindeste t, aber ein normales h aufzuweisen hat. Die Häufigkeitszahlen geben somit einen viel besseren Einblick in die Art der Bewölkung als die Mittel selbst, was auch vor allen Köppen und Meyer längst gezeigt haben. Übrigens zeigen die Zahlen wiederum wie konstant schon 5-jährige Mittel sind, wenn dieselben sich auf Schätzungen desselben Beobachters stützen. Über die Abweichungen der Werte von den beobachteten sei nur hervorgehoben, dass diese um 50 % zu erhöhen wären, wenn man die Fehler der Schätzungen um 7 a und 9 p erhalten wollte.

Um die jährliche Periode der Häufigkeitszahlen etwas näher darzustellen, habe ich noch 10- und 20-jährige Mittel der Monatssummen der Stufen 0, 1—9 und 10 angegeben. Für die nach unseren obigen Betrachtungen beste Reihe 1903—17 um 2 p sind die Zahlen ausserdem in Prozenten ausgerechnet, aus diesen und b auch b_1 und v abgeleitet, wobei jene Grösse durch Mittelbildung von je 3 Werten ausgeglichen sind.

Die Stufe 0 hat also um 7 a eine einfache jährliche Periode mit dem Maximum im Juli, dem Minimum im Winter (Februar und Dezember). Um 2 p ist der Gang in dem letzten Jahrzehnt ähnlich, jedoch mit dem Minimum im Oktober,

		Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni
7a	*Stufe 0*						
	1898—07	3.5	1.8*	6.1	6.1	6.3	6.9
	1908—17	4.5	4.2	7.0	7.5	9.1	8.9
	1898—17	4.0	3.0*	6.6	6.8	7.7	7.9
	Stufe 1—9						
	1898—07	5.5	4.9*	4.3	7.8	12.6	13.3
	1908—17	2.1*	3.0	3.2	6.2	9.0	9.6
	1898—17	3.8*	4.0	5.2	7.0	10.8	11.5
	Stufe 10						
	1898—07	22.0	21.4	17.6	16.1	12.1	9.8
	1908—17	24.4	21.1	20.8	16.3	12.9	11.5
	1898—17	23.2	21.2	19.2	16.2	12.5	10.6
9p	*Stufe 0*						
	1898—07	5.5	4.6	9.0	8.3	6.4*	7.4
	1908—17	6.6	6.7	9.6	9.4	8.8	7.4*
	1898—17	6.0	5.6	9.3	8.8	7.6	7.4*
	Stufe 1—9						
	1898—07	5.5*	5.6	6.3	9.2	14.9	14.8
	1908—17	2.7	2.6	3.1	5.4	10.4	13.9*
	1898—17	4.0	4.1	4.7	7.3	12.6	14.4
	Stufe 10						
	1898—07	20.2	17.9	15.7	12.5	9.7	7.8
	1908—17	21.7	19.0	18.3	15.2	11.8	8.7*
	1898—17	21.0	18.4	17.0	13.8	10.8	8.2
2p	*Stufe 0*						
	1898—07	2.4	2.4	6.0	5.6	4.1	4.0
	1908—17	3.3	3.4	4.4	4.6	4.7	5.3
	1898—17	2.8	2.9	5.2	5.1	4.4*	4.6
	Stufe 1—9						
	1898—07	7.7	6.2*	8.6	11.1	16.8	18.4
	1908—17	6.8	6.8	9.6	12.7	16.5	16.6
	1898—17	7.2	6.5	9.1	11.9	16.6	17.5
	Stufe 10						
	1898—07	20.9	19.5	16.4	13.3	10.1	7.6
	1908—17	20.9	18.1	17.1	12.7	9.8	8.1
	1898—17	20.9	18.8	16.8	13.0	10.0	7.8

Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahr
6.8	6.5	6.2	3.1	3.6	3.7	60.8
10.2	5.6	5.9	4.3	2.9	3.1*	73.2
8.5	6.0	6.2	3.7	3.2	3.4*	67.0
15.1	13.4	9.8	8.1	6.4	5.6	109.8
11.0	10.2	7.9	6.3	3.5	2.3	74.3
13.1	11.8	8.8	7.2	5.0	4.0	92.0
9.1*	11.1	13.8	19.8	20.0	21.7	194.5
9.8*	15.2	16.2	20.4	23.6	**25.6**	217.8
9.4*	13.2	15.0	20.1	21.8	**23.6**	206.2
7.3	8.2	**9.1**	5.3	5.2	4.3*	80.6
7.6	7.2	**11.0**	7.9	5.6	4.7*	92.5
7.4	7.7	**10.0**	6.6	5.4	4.5*	86.6
17.6	13.6	10.6	7.2	5.6	5.5	116.2
14.5	12.7	6.5	4.7	1.6*	1.6*	79.7
16.0	13.2	8.6	6.0	3.6	3.6*	98.0
6.1*	9.2	10.3	18.5	19.2	**21.2**	168.3
8.9	11.1	12.5	18.4	22.8	**24.7**	193.1
7.5*	10.2	11.4	18.4	21.0	**23.0**	180.7
3.6	2.5*	**3.7**	2.2*	2.4	2.6	41.5
6.0	3.0	2.7	2.0*	2.2	2.5	44.1
4.8	2.8	3.2	2.1*	2.3	2.6	42.8
20.9	**21.3**	16.2	10.9	9.9	8.3	156.3
19.5	18.5	16.1	11.3	7.2	4.7	146.3
20.2	19.9	16.2	11.1	8.6	6.5*	151.3
6.5*	7.2	10.1	17.9	17.7	20.1	167.3
5.5*	9.5	11.2	17.7	20.6	**23.7**	174.9
6.0*	8.4	10.6	17.8	19.2	**21.9**	171.1

	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahr
						1903—1917 2p							
h . .	10	11	**17**	15	14	**18**	17	8	11	8	8*	8	12.1
g . .	22	24	27	41	53	56	**63**	62	54	35	26	18*	40.1
t. . .	68	66	56	44	33	26	20*	30	35	57	66	**73**	47.8
b . .	79	80	70	64	59	52	50*	63	64	76	82	**84**	68.5
b—t.	11	14	14	20	26	26	30	**33**	29	19	15	10*	20.7
b_1 . .	**56**	54	53	49	48	48*	49	51	54	55	**56**	55	51.8
v . .	14	17	20	31	44	50	**61**	52	46	25	19	13*	30.2
						1898—1917 7a, 2p, 9p							
h . .	14	14	23	**23**	21	22	22	18	**22**	13	12	11*	18.0
g. . .	16	17	20	29	43	48	**53**	48	37	26	19	15*	31.1
t. . .	70	69	57	48	36	30	25*	34	41	61	69	**74**	50.9

aber das frühere Jahrzehnt 1898—07 zeigt das ausgesprochene Maximum schon im März. Im Mittel der 20 Jahren treten 2 Maxima im März und Juli, 2 Minima im Mai und Oktober hervor. Am Abend ist diese doppelte Periode in beiden Jahrzehnten deutlich vorhanden, Maxima an den Tag- und Nachtgleichen im März und September, Minima an den Sonnenwenden im Juni und Dezember. Die Zwischenstufen 1—9 und der trübe Himmel 10 haben beide einfache jährliche Perioden zu allen Tageszeiten mit Extremen meistens im Juli und Dezember, 1—9 mit Minimum im Dezember, Maximum im Juli, die Stufe 10 umgekehrt. In der jährlichen Periode sind also *g* und *t* zusammengehörig; obwohl die täglichen Perioden von *h* und *g* Spiegelbilder von einander waren.

Nach den Werten für 2 p der 15 Jahren 1903—17 finden wir, dass *b* dieselbe Periode wie *t* hat, jedoch mit einer viel kleineren jährlichen Schwankung, was wiederum von der umgekehrten Periode von *g* abhängt. Die Grösse *v* hat dieselbe Periode wie *g*, *b*—*t* beinahe auch, das Maximum jedoch nach August verschoben. Auch b_1 weist hier aus-

geglichen eine ziemlich regelmässige Periode mit einem Minimum von 48 % im Juni, einem Maximum von 56 % im November auf. Nur in 4 Monaten April—Juli (das Meer kälter als das Land) ist b kleiner als 50 %, sonst grösser.

---

5. *Verschiedene Vergleiche.*

Um den Einfluss des Beobachters und der Lokalität auf die Schätzungen der Bewölkung in der Nähe von Helsingfors zu untersuchen bietet sich ein ziemlich vollständiges Material. Ausser an der Zentralanstalt sind nämlich in den Jahren 1908—11 an dem Leuchtturm Gråhara etwa 7 km südlich von der Zentralanstalt um 8 a, 2 und 9 p von einem sehr gewissenhaften Beobachter Schätzungen angestellt. Weiter liegen für die Jahren 1907—10 Nachtbeobachtungen um 9 p 12, 3 und 5 a vor, ausgeführt von wechselnden Feuerwächtern auf dem etwa 60 m hohen Turme der Feueranstalt, mitten in der Stadt, ½ km südlich von der Zentralanstalt. Schliesslich hat man seit 1911 an dem Filialobservatorium »Ilmala» Schätzungen zu denselben 7 Terminen wie an der Zentralanstalt ausgeführt. In meiner früheren Studie (l. c. S. 13—27) habe ich schon eingehende Vergleiche der 3 erstgenannten Reihen ausgeführt. Weil es für das folgende wichtig ist, nehme ich hier einige von den Ergebnissen noch (l. c. S. 16, 20, 21 und 25) auf, berechne dazu noch die Grössen b_1 und v. Der Kürze halber sei wie früher die Zentralanstalt mit O, der Leuchtturm mit G und die Feuerwache mit B bezeichnet.

		Winter						Sommer					
		h	g	t	b	b_1	v	h	g	t	b	b_1	v
8a	O	11	9	80	86	60	6	24	41	35	56	52	38
	G	2	19	79	87	43	10	9	62	29	65	59	56
2p	O	8	18	74	84	58	13	16	61	23	54	51	58
	G	2	25	73	85	48	14	4	71	26	64	54	60
9p	O	15	7	78	81	42	3	26	42	32	51	46	38
	G	7	22	70	82	53	15	3	69	29	60	46	52
	B	17	10	73	78	47	6	24	41	35	55	49	36
Mittel	O	11	11	77	84	55	8	22	48	30	54	50	45
	G	4	22	74	85	49	13	5	67	28	63	53	56

		Jahr					
		h	g	t	b	b_1	v
8a	O	20	25	56	70	56	20
	G	7	41	53	75	56	30
2p	O	12	41	46	68	51	31
	G	4	50	46	72	52	36
9p	O	26	21	53	63	48	16
	G	9	43	47	68	47	30
	B	24	25	50	63	52	21
Mittel	O	19	29	52	67	52	22
	G	7	45	49	72	51	32

Ich habe an der betreffenden Stelle diese grosse Unterschiede der Grössen *h*, *g* und *t* eingehend erörtert und auch einige Ursachen zu denselben aufzufinden gesucht. Als die wichtigsten wurden der freie Horizont an der Feuerwache und auf dem Leuchtturme, und die viel grössere Genauigkeit des Beobachters an diesem Orte gefunden. Wie u. a. die von uns oben (S. 12) angeführten Ergebnisse der Zonenbeobachtungen in Potsdam lehren, wird *g* wesentlich ver-

mindert, wenn man die Schätzungen auf eine zenithale Zone beschränkt. Der gehemmte Überblick des Horizontes an der Zentralanstalt wäre also eine Ursache zu dem kleinen *g* bei O. Bei B ist *g* schon etwas grösser, aber viel grösser erst bei G. Ich machte auch auf die Unterschiede aufmerksam, welche vom Meer verursacht werden und wollte den stärkeren täglichen Gang bei O als bei G zum Teil hierauf zurückführen. Ich habe aber auch hervorgehoben, dass der unerwartet grosse tägliche Gang bei O auch im Winter möglicherweise auf dem täglichen Wechsel des Beobachters beruhen würde. Dieses können wir durch unsere obige Befunde jetzt sicherer bestätigen und die grossen Unterschiede G—O um 7 a und 9 p auf die Fehler des Beobachters E. H:s zum grossen Teile zurückführen.

Wie die Zahlen auf S. 39 oder 40 näher gelehrt haben, ist *g* in den Jahren 1908—10 um 7 a und 9 p zu klein, *t* zu gross. Nehmen wir aber die Werte für 2 p unverändert und reduzieren die Morgen- und Abendwerte wie oben nach dem täglichen Gange der Jahren 1904—06, so erhalten wir andere mit G besser vergleichbare Zahlen. In der Tabelle unten ist dieser erneute Vergleich im Jahresmittel ausgeführt, wobei auch die Werte für 1891—95, welche denjenigen für Gråhara am meisten ähneln, beigefügt sind.

	7a						2p					
	h	g	t	b	b_1	v	h	g	t	b	b_1	v
G 1908—10 . . .	7	41	53	75	56	30	4	50	46	72	52	36
O (1904—06) . .	20	26	54	68	55	21	12	41	46	68	52	32
O 1891—95 . . .	15	43	44	68	57	36	8	55	37	66	53	44
	9 p						Med.					
G 1908 10 . . .	9	43	47	68	47	30	7	45	49	72	51	32
O (1904—06) . .	25	30	44	61	55	27	19	32	48	66	54	25
O 1891—95 . . .	18	41	41	62	51	34	13	46	40	65	53	38
B 1908—10 . . .	24	25	50	63	52	21	—	—	—	—	—	—

In diesen nach dem täglichen Gange 1904—06 reduzierten O-Werten finden wir schon, besonders abends, eine viel bessere Übereinstimmung mit G als durch die früheren vom Beobachter E. H. erhaltenen. Trüber Himmel ist gleich häufig, *h* aber bei G noch viel zu klein, *g* zu gross. Wir finden auch, dass *g* für die Feuerwache jetzt am kleinsten ausfällt, obwohl der Horizont hier viel freier als am Observatorium ist. Dies spricht für die Ungenauigkeit der Schätzungen B und auch für diejenigen des Beobachters E. H. Sehen wir die älteren Zahlen für 1891—95 an, so finden wir eine noch grössere Übereinstimmung mit G in *g* und teilweise auch in *h*, aber *t* fällt nach den alten Beobachtungen noch viel zu klein aus. Offenbar hat man in beiden Fällen eine übertriebene Genauigkeit dargelegt, die extremen Stufen durch die nächsten ersetzt. Bei den alten Schätzungen ist wohl, wie oben gezeigt wurde, durch Rücksichtsnahme auf die Dichte in erster Reihe die Stufe 10 durch 9, 8 u. s. w. ersetzt. Wie ich früher schon fand, hat der Beobachter auf Gråhara am sichersten kleine Wolken oder kleine Lücken in diesen überschätzt, wahrscheinlich wenn diese am Himmelsrande sich befanden. Um 9 p gibt Gråhara somit $g_1 = 11\,\%$, wogegen B 6 und O nur 3 % gibt (vgl. l. c. S. 21). Ebenso ist für G $g_9 = 7$, für B und O nur 4, bzw. 3 %. Bei erneutem Durchsehen der Beobachtungen fand ich auch, dass von den um 9 p auf Gråhara aufgezeichneten Stufen 1 91 % der Schätzung 0 an der Zentralanstalt entsprachen, ebenso 56 % von den Stufen 2 noch gleichwertig mit 0 nach O. Wenn G 9 angab, war wiederum *b* nach O in 54 % der Fälle = 10. (Die Bewölkung hier bei G wahrscheinlich oft richtiger). Um 9 p war die Häufigkeit somit für die 3 Stufen 0, 1 und 2 zusammen 24 %, d. h. gleich der Häufigkeit für 0 allein auf der Feuerwache und noch 2 % kleiner als *h* für die Zentralanstalt. Auch ist $g_9 + t$ für G gleich 54 %, $t = 53$ gleichzeitig für O nach E. H. Manchmal findet man, dass 10^0 auf Gråhara mit 9 oder kleineren Stufen bezeichnet ist, was nur von der grösseren Genauigkeit bei G abhängen dürfte, denn im allgemeinen ist keine Rücksicht auf die

Dichte genommen. Dass der Beobachter vornehmlich eine übertriebene Angst vor der Stufe 0 hat, konnte ich durch die von ihm ausgeführten Bestimmungen der Wolkenart bestätigen. Es kommt nämlich nur ein paarmal im Jahre vor, dass die Ziffer 0 und gleichzeitig eine Wolkenform eingetragen wurde, dabei gleichzeitig immer auch nicht gerade 0 sondern 0.1 bis 0.5. Wenn es richtig wäre, dass die Stufe 1 (d. h. 6 bis 15 %) in 10 Proz. Fällen vorkomme, dann müsste wohl 1 bis 5 Prozente der Himmelsfläche auch bei etwa 5 % von allen Beobachtungen oder die Stufe 0 etwa 55 mal pro Jahr vorkommen, hierbei kleine Wolken einbegriffen. Ähnlich dürfte es bei kleinen Lücken sein oder 99—95 % der Himmelsfläche sind wohl oft mit der Stufe 9 bezeichnet. Möglich ist, dass 0 und 10 auch deshalb vermieden sind, um den Beobachtungen ein genaueres Aussehen zu verleihen, ähnlich wie Hellmann[1]) die Abneigung gegen 0 bei Schätzung der Zehntel von Thermometergraden erklärt hat. Schliesslich könnte man denken dass die grossen g_1 teilweise auch durch Rücksichtsnahme auf Rauch und andere Trübungsarten besonders an dem Horizont zu erklären wären. Gewissenhafte Beobachter sind wohl oft unsicher, ob solches zu berücksichtigen ist, obwohl es nicht als Höhenrauch bezeichnet werden kann, in welchem Falle die Rücksicht nach internationalen Vorschriften zu nehmen ist [2]). Ich erwähne alle diese Umstände deshalb ausführlich, teils weil diese zur Erklärung der Ergebnisse in Helsingfors sicher oder mit grosser Wahrscheinlichkeit in Betracht zu ziehen sind, teils weil wir hier mit einem sehr interessierten und gewissenhaften Beobachter zu tun haben und ausserdem ähnliche Ergebnisse aus offenbar ähnlichen Ursachen oft erhalten werden.

Selbstverständlich sind einige Unterschiede zwischen den obigen Zahlen O und G auch durch verschiedene klimatische Verhältnisse hervorgerufen. So z. B. ist es natürlich, dass

---

[1]) Sitzungsber. d. K. Preuss. Akad. Wiss. Phys.-math. Classe XIV 1913 s. 290.

[2]) Im welchem Masse ist leider nicht angegeben.

g und v im Sommer von Nacht zu Tag am Meere weniger als am Lande zunehmen, obwohl der Unterschied in Betracht der kleinen Entfernung zwischen den Orten nicht so gross sein dürfte. Unnatürlich ist es, dass heiterer Himmel (h) im Sommer ungefähr gleich häufig wie im Winter wäre, an den Abenden sogar seltener. Die beste Übereinstimmung zwischen O und G finden wir in b_1, denn an beiden Orter sind die Häufigkeitskurven ungefähr im gleichen Grade symmetrisch (vom Winter abgesehen, wo diese Werte durch die kleinen Nenner g noch unsicher sind). Sowohl O als G zeigte am Morgen eine positive Asymmetrie (d. h. die hohen Stufen überwiegen), welche zum Abend in eine negative übergeht.

Um auch die Schätzungen an der Drachen-Station Ilmala (I) in Betracht zu ziehen, habe ich für das erste Beobachtungsjahr 1911, wo auch für Gråhara Beobachtungen noch vorhanden waren, die Häufigkeitsziffern für alle drei Orte berechnet. Ich führe die Daten besonders für 2 p und für die Morgen- und Abendterminen zusammengenommen vor:

Stufe		h	g_1	g_2	g_3	g_4	g_5	g_6	g_7	g_8	g_9	t	g
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
7a + 9p . .	G	9	9	5	4	4	2	3	3	4	9	47	44
	O	28	3	3	2	2	2	2	2	2	3	50	22
	I	19	7	5	3	3	2	1	3	3	4	50	31
2p	G	4	8	7	5	3	5	4	3	3	12	47	49
	O	11	7	4	4	4	4	4	6	5	7	43	46
	I	10	7	4	4	4	3	3	3	4	7	51	39
9p — 7a . .	G	2	6	2	1	1	0	0	1	—1	—3	—10	7
	O	7	2	—1	0	2	—1	3	1	0	—1	—11	5
	I	—1	3	2	1	2	2	0	0	0	2	—10	12

Die Grössen b, g, b, und v werden hieraus:

	7a + 9p			2p			7a + 2p + 9p		
	G	O	I	G	O	I	G	O	I
b	68	61	64	71	66	71	69.0	62.8	66.3
b—t	21	10	14	24	23	19	22.4	14.9	15.7
g	44	22	31	49	46	39	45.7	29.6	33.5
b_1	48	49	45	50	51	50	49.0	50.4	46.9
v	31	17	22	34	35	27	32.5	23.7	23.6

Wenn diese klimatischen Konstanten nur von natürlichen Verhältnissen abhängig wären, dann müsste wohl O eine Mittellage zwischen G und I einnehmen. Wir finden im Gegenteil, dass O sich extrem verhält, wogegen I mehr mit G ähnliche Zahlen aufweist. Die Unterschiede treten vornehmlich in den Grössen h, g_1, g_9, b—t und g zur Tage, am Morgen und Abend mehr als mittags. Um 7 a und 9 p ist die Häufigkeit der Zwischenstufen, wie wir schon oben fanden, auffallend konstant für die Hauptstation O, Beobachter El. L., wogegen der Beobachter H. H. um 2 p mit den übrigen viel ähnlichere, gekrümmte Häufigkeitskurven erhält. Die Stufe 1 wird auf Ilmala beinahe ebenso viel als auf Gråhara beobachtet, was zum Teil mit dem freien Horizonte zusammenhängen kann. Die Stufe 9 ist bei I und O ungefähr gleich häufig, aber auf Gråhara viel häufiger. Um den Einfluss der Lichtverhältnisse darzulegen sind in der ersten Tabelle auch die Unterschiede 9 p—7 a angeführt. Hier zeigt vor allem G eine sehr grosse Zunahme der Stufe 1 vom Morgen zum Abend, 6 % statt nur 2 % für die Zunahme von h. Auch dieses spricht also deutlich für die grosse Vorliebe für 1. Ebenso für I, wo 9 p—7 a für $g_1 = 3$, für h aber — 1 % beträgt. Die Zunahme von g_9 scheint auch anzugeben, dass diese Stufe in Ilmala zu häufig vorkommt. Die grosse Zunahme von g mit 12 % und die Abnahme von h deuten

jedoch darauf an, dass in Ilmala die Beobachter abends meistens andere als morgens waren. Die Grössen *b*—*t*, *g* und *v*, welche Ausdrücke für die gebrochene Wolkendecke sind, nehmen um 2 p ziemlich regelmässig vom Meer zu Land ab. Man könnte eher das Gegenteil erwarten, da die Zwischenstufen wohl im allgemeinen als Folgen der Konvektion und Wärme aufgefasst sind. Es scheint als hätte man hier eine Bestätigung eines von Köppen und Meyer (l. c.) aufgestellten Satzes, dass der gebrochene Himmel für das Meer eigen wäre. Aus Gründen, die ich früher angegeben habe, muss ich aber diesen Satz als ungenügend bewiesen ansehen. Ich komme später auf denselben noch zurück, bemerke hier nur, dass die grossen Werte von *g* u. s. w. für Gråhara sicherlich durch Schätzungsfehler verursacht sind. Man sieht auch, dass um 7 a und 9 p *g*, *b*—*t* und *v* von O zu I zunehmen und ebenso würde man für O grössere Werte für *g* u. s. w. als für G erhalten, wenn man die Beobachtungen 1891—95 verwenden würde.

Um die von H. H. um 2 p in Helsingfors erhaltenen Häufigkeitskurven versuchsweise von einer anderen Seite zu prüfen, habe ich, wie schon oben erwähnt wurde, die Sonnenscheindauer zwischen 1 und 3 p in ähnlichen Häufigkeitszahlen für die Jahre 1904—10 ausgedrückt. Ich gebe hier nur die Unterschiede zwischen den Häufigkeitswerten der Bewölkungs- und Sonnenscheinstufen (eigentlich 10—Sonnenscheinwahrscheinlichkeit in Zehnteln ausgedrückt) für 4 Jahreszeiten (nach der Sonnenhöhe) und für das Jahr an, für dieses auch die Häufigkeitszahlen der Bewölkungsstufen. Alle Zahlen sind hier in Promille angegeben:

Unterschiede zwischen Bewölkung und relativem Sonnenscheinmangel in Helsingfors 1904—10, 1—3 p. in $^0/_{00}$.

Stufe	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	g
Nov.—Jan. .	(54)	(10)	(10)	(—1)	—3	—2	4	11	—8	23	—100	44
Febr.—April	—125	33	4	14	9	—5	—2	8	19	20	21	100
Mai—Juli . .	—262	28	11	34	9	6	29	23	31	16	74	187
Aug.—Okt. .	—153	—16	—5	17	21	—1	24	24	14	24	51	102
Jahr	(—122)	(14)	(5)	(16)	10	—1	14	17	14	21	14	110
Bewölk. Jahr.	123	59	45	47	37	27	39	51	46	61	466	412

Die eingeklammerten Zahlen sind etwas zu klein, weil die Sonne in November—Januar schon vor 3 p einzubrennen aufhört. Die grossen negativen Unterschiede für die Stufe 0 und die positiven für Stufe 10 sagen nur, dass die Bewölkung nach den Registrierungen viel kleiner als nach den Schätzungen ausfällt. Dieses ist am deutlichsten im Sommer zu sehen, wogegen im Winter das Gegenteil eintritt. Die überwiegend positiven Unterschiede bei den Zwischenstufen geben wiederum an, dass die Häufigkeit des gebrochenen Himmels (siehe *g* rechts) nach den Schätzungen beträchtlich grösser (41 %) als nach den Registrierungen (30 %) ausfällt. Wie schon die auf S. 12 angeführten Zonenergebnisse in Potsdam angeben, trifft dieses immer ein, wenn man die Bewölkung eines bestimmten Teiles des Himmelsgewölbes mit der totalen vergleicht. Dasselbe fanden wir oben auch durch Vergleiche der Bestimmungen an der Zentralanstalt in Helsingfors einerseits, Gråhara, Ilmala und Feuerwache andererseits. Sehen wir wiederum den Gang der Differenzen an, so ist im Jahresmittel ein solcher regelmässiger kaum vorhanden, wodurch angegeben würde, dass die Häufigkeitskurven etwa dieselbe Form zwischen 1 und 9 haben. Ausserdem sehen wir die Vorliebe für 3, das Meiden von 5 gut hervortreten. Ebenso ist hier angedeutet, dass

die Stufen 9 und 1 (Febr.—Juli) zu oft aufgezeichnet sind. Im allgemeinen werden frühere Annahmen und Befunde bestätigt, obwohl man wie gesagt diesen Vergleichen keinen grösseren Wert beimessen kann, weil keine einfache Beziehung zwischen Bewölkung und Sonnenscheindauer besteht.

III. Die Schätzungen an einigen anderen Hauptstationen.

1) *Potsdam* (*und Berlin*).

Wir wenden uns jetzt den Bewölkungsschätzungen einiger anderer meteorologischen Observatorien zu, um die Häufigkeitskurven kennen zu lernen. Gestützt auf unsere eingehenden Studien für Helsingfors können wir uns im allgemeinen kürzer fassen, wollen aber die Verhältnisse möglichst vielseitig beleuchten. Wir fangen mit Potsdam an, weil für diesen Ort schon viele diesbezügliche Daten berechnet vorliegen.

Marten und Meissner haben schon die Schätzungen der Nachtwächter am Potsdamer Observatorium einiger Prüfung unterzogen. Weil Marten für diese Prüfung die besten vorhandenen Normalwerte, erhalten durch die Registrierungen des Pole Star Rekorders Pichering, heranziehen konnte, wollen wir von diesen Ergebnissen ausgehen. Bei seinen ersten Vergleichen zwischen diesem Instrument und den Schätzungen des früheren Nachtwächters Krüger fand Marten[1], dass dieser im Mittel von 66 monatlichen Stundenwerten der Jahre 1897 und 1898 im Mittel 2 Bewölkungsprozente zu hoch schätzte. Die Häufigkeitszahlen wurden aber hierbei nicht verglichen. Meissner hat aber später[2]) 7-jährige Schätzungen Krügers auch in Häufigkeitszahlen für Januar, Februar und Juni angegeben und diese sind in der folgenden Tabelle auf-

[1]) Ergebn. d. Meteorol. Beob. in Potsdam 1909.

[2]) Meteorol. Zeitschr. 1911, S. 39.

10p—6a ‰ Stufe		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1910 XI —1911 I	Pole St. Rek.	128	43	37	31	31	37	23	31	27	57	555
	Schätz. Fiebigs	163	0	21	23	19	33	23	16	51	12	640
Schätz. Krügers 1901—07	Januar	211	8	55	23	28	6	47	29	12	5	575
	Februar	141	13	61	20	25	5	60	35	18	11	611
	Juni	117	6	161	34	40	16	142	82	40	11	352
Abw. vom Pole St. Rek.	Fiebig	**35**	—43*	—16	—8	—12	—4	**0**	—15	**24**	—45*	85
	Krüger I, II	**48**	—33*	**21**	—9	—5	—31*	**31**	1	—12	—51*	38
	» VI	—21	—37*	**124**	3	9	—21*	**119**	51	13	—46	—203*

genommen. In einer zweiten Studie hat M a r t e n[1]) auch die Schätzungen des seit 1907 tätigen Nachtbeobachters F i e b i g sowohl durch Mittelwerte als Häufigkeitszahlen im Vergleich mit den Instrumentenangaben geprüft. Die Vergleiche stammen aus der Zeit November 1910 bis Januar 1911 und umfassen die 5 Schätzungstermine 10 p, 12 mn, 2, 4 und 6 a, im ganzen 430 Werte. Oben habe ich schon in der Einleitung die Häufigkeitszahlen nach dem Pole Star Rekorder angeführt. Ich stelle S. 55 jetzt die Häufigkeitszahlen für K r ü g e r (nach M e i s s n e r) und F i e b i g nach M a r t e n zusammen, gebe alle auch in Abweichungen von dem Pole Star Rekorder an.

Bedeutende Störungen sind vornehmlich bei den Werten K r ü g e r s vorhanden, wie schon M e i s s n e r und M a r t e n hervorgehoben haben. M a r t e n nennt die Skala vierteilig (besser wohl 4-stufig) da nur zwei Häufungsstellen zwischen den Endstufen bei 2 und 6 (à 7) vorhanden sind. Auch die starken Häufungsminima bei den Stufen 1 und 9 nach F i e b i g s Schätzungen erwähnt M a r t e n und führt dieselbe auf die Vorliebe für die Stufen 0, 8 und 10 zurück. Eigentümlich ist, dass beide Beobachter die Stufen 1 und 9 vermieden haben. Ausser diesen ist von den Zwischenstufen nur 8 bei F i e b i g gestört, wogegen die übrigen 6 Stufen 2—7 ziemlich konstante Zahlen aufweisen, so dass die neueren Schätzungen F i e b i g s augenscheinlich gleichmässiger als die alten erscheinen. Aber jene sind offenbar noch etwas roh, denn g ist nach den Schätzungen 20 %, nach den Registrierungen aber 32 %. Im Gegenteil würde man erwarten, dass durch die Registrierungen, welche die Bewölkung in 52° Sonnenhöhe angeben, auch kleinere g als für den ganzen Himmel erhalten würde. Denn, wie man ohne weiteres einsieht, und u. a. die eingangs angeführten Zonenbeobachtungen in Potsdam gut lehren (g für die Zone 60—90 = 47 statt 76), ist die Wahrscheinlichkeit für gebrochenen Himmel in kleineren Zenitdistanzen grös-

---

[1]) Meteorol. Zeitschr. 1911, S. 184.

ser als in niedrigen. Der Werth $g = 20$ nach Fiebig wäre also wahrscheinlich zu verdoppeln oder noch mehr zu vergrössern. Wahrscheinlich gilt ähnliches auch für die Schätzungen Krügers, obwohl man selbstverständlich nicht die obigen Abweichungen von den Registrierungen den absoluten Beträgen nach als Fehler betrachten kann, da die Registrierungen nur für einen einzigen Winter gelten.

Berechnet man aus den obigen Häufigkeitszahlen den Unterschied $b—t$ (nach Formel 1) und hieraus b, b_1 und v, so erhält man:

Grösse:	h	g	t	b—t	b	b_1	v
Pole Star Rekord.	12.8	31.7	55.5	16.0	71.5	50.4	22.4
Fiebig.	16.3	19.7	64.0	11.2	75.2	56.9	17.5
Krüger, Jan.	21.1	20.4	57.5	8.5	66.0	41.6	12.9
» Febr. . . .	14.1	24.8	61.1	11.6	72.7	46.7	16.0
» Juni	11.7	53.1	35.2	26.1	61.3	49.1	42.6

U. a. sehen wir hier, dass die Schätzungen Fiebigs eine starke positive Abweichung in b, (vgl. die Stufen 8 und 1) diejenigen Krügers wiederum eine negative, vornehmlich im Januar ergeben. Die Mittel b wurde, wie schon Marten fand, von Fiebig 3.7 % zu gross erhalten. Nur ein Teil dieses Fehlers (2.5 %) hängt von dem Unterschiede $t—h$ $\left(\text{vgl. die approx. Gleichung } b = 50 + \frac{t—h}{2}\right)$ der Rest von dem grossen b_1 ab. Marten erklärt wohl mit Recht die erhöhten Werte als natürlich begründet, da die Bewölkung vom Horizont bis zum Zenit abnimmt und die Registrierung für eine grössere Höhe als die Schätzung gilt [1]. Auch Krü-

[1] Der Aussage *Martens*; »die Schätzungen über den ganzen Himmel sollten den Bewölkungszustand für die Zenitdistanz 45° richtig wiederspiegeln» kann ich aber nicht beistimmen, denn die Halbierung der wirklichen Himmels-Fläche geschieht ja schon in 30° Höhe. *Leyst* scheint eine ähnliche Ansicht gehabt zu haben, weshalb er nicht seinen Befund, dass die Moskauer Schätzungen für die mittlere Höhe 39° gelten, unnatürlich fand.

ger fand wie erwähnt zu hohe Bewölkungsmittel und da b_1 sehr klein war, kann man hieraus schliessen, dass bei diesen Schätzungen t—h noch grösser als bei Fiebig ausfiel.

Weil noch in den Schätzungen Fiebigs somit einige Fehler hervortraten, hat man ihn zu Anfang 1911 neuerdings instruiert und verglich im Januar und Februar 1912 seine Ergebnisse mit den Registrierungen aufs neue [1]). Im Mittel von 354 Beobachtungen um 6 p — 6 a in diesen Monaten gab die Schätzung 26 % grössere b als die Registrierung. Die Verteilung auf die einzelnen Stufen war:

Stufen	h 0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	t 10	g 1—9	b	b_1
Registrierung	24	6	3	2	3	2	3	1	2	3	49	27	61	44
Schätzung. .	22	5	6	4	2	1	1	1	5	5	50	30	63	48

In diesen Zahlen fand man die Fehler bei den Stufen 1 und 9 verschwunden. Ebenfalls war keine erhebliche Bevorzugung gewisser Werte mehr zu finden. Weil aber in diesen Vergleichen noch Schätzungen anderer Beobachter um 6, 8 und 9p eingingen und diese, wie wir noch finden werden, sehr grosse Werte für g_1 und g_9 erhielten, habe ich die Häufigkeitszahlen aufs neue sowohl für 6p—9p (7p—9p im Febr.) wir für 10 p—6 a ausgerechnet und fand:

Stufe	h 0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	t 10	g 1—9	b—t	b	b_1	v_1
6 (7)—9p	17.9	11	11	7	2	0	1	1	2	6	43.0	39.1	13.9	56.9	36	24
10p—6a .	19.9	2	4	4	2	1	2	2	6	5	53.2	26.9	15.2	68.4	57	22
Mittel [2]) .	19.2	5	6	5	2	1	1	2	4	5	49.6	31.2	14.7	64.3	47	23

[1]) Ergebn. der Meteor. Beob. in Potsdam 1911 S. VIII.

[2]) Die Mittel, welche hier auf sämtlichen 422 Beobachtungen beruhen, stimmen übrigens mit den in dem Jahrbuch angegebenen überein, aber nur h ist hier 3 % kleiner. Da die Summe von den Prozentzahlen in dem Jahrbuche 98 % ist, scheint es wahrscheinlich dass h 20 statt 22 sein soll. Auch die Unterschiede in b sprechen hierfür.

Wie hieraus zu ersehen ist, hat die Stufe 1 ihre grosse Häufigkeit durch die Abendbeobachter erhalten. Jedenfalls ist es richtig, dass die Schätzungen des Nachtbeobachters gleichmässiger geworden sind. Die mittlere Bewölkung erscheint sehr gross, 11 % höher als am Abend, aber nach den in dem Jahrbuche 1911 angegebenen einzelnen Stundenunterschieden ist b jedoch nur 4 % grösser als nach der Registrierung. Die Asymmetrie erscheint in dem Mittel negativ (48 %) in Gegensatz zu den früheren Ergebnissen des Winters 1910—11, aber die Ursache hierzu scheint ganz in dem kleinen b_1 bei den Abendschätzungen zu stecken.

Wir gehen zu Betrachtung der von dem wissenschaftlichen Beobachter am Tage bis 9 p ausgeführten Schätzungen über. Für die Prüfung derjenigen, die in den Winter-Abenden ausgeführt sind, hat Marten (l. c.) die Polarsternregistrierungen ebenso herangezogen. Ich führe unten diese Vergleiche des Winters 1910—11 an (in Promille):

Stufe	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	g
Pole Star Rek. .	133	27	36	33	39	27	30	27	41	56	553	314
Schätzung 6—9p	126	20	33	20	12	33	4	20	37	106	590	284
Unterschied . . .	—7	—7	—3	—13	—27	6	—26	—7	—4	50	37	—30
» 1912	—60	50	80	50	—10	—20	—20	0	0	30	—60	120

Marten erwähnt die hier hervortretende Vorliebe für 5 auf Kosten von 4 und 6 und die Differenz bei 10. Die grösste Differenz bei 9 ist aber ganz unbeachtet geblieben. Ersetzt man die Häufigkeitszahlen der Stufen 4—6 mit deren Mittelwert, so bleibt die geschätzte Kurve zwischen den Stufen 1 und 8 ähnlich wie die registrierte, am nächsten eine gerade Linie. Nur die Stufe 9 weicht stark ab, was offenbar von der Schätzungsmethode abhängen dürfte. Oben sind in der Tabelle zuletzt auch die Unterschiede angeführt, welche man für Januar und Februar 1912 erhält, wenn man die von mir in der vorletzten Tabelle angeführten Abendschät-

zungen mit den Registrierungen für die ganze Nacht vergleicht. Obwohl diese Zahlen nicht gleichzeitig erhalten sind und somit nicht die h_1, g und t streng vergleichbar sind, dürfte jedoch der Gang der verschiedenen g (wie im Winter 1910—11) nicht hiervon beeinflusst sein. Unter dieser Annahme finden wir, dass die geschätzten Kurven gegen beide Enden viel zu stark gekrümmt sind, hier vornehmlich bei den kleinsten Stufen. Unter 59 Fällen mit den Stufen 1—9 kam niemals 5 und nur je einmal 6 und 7 vor. Obwohl diese wenigen Zahlen noch viel von Zufälligkeiten abhängen, scheint es jedoch, als wären die Beobachter andere und ungeübtere als im Winter 1910—11 gewesen.

Sicherere Angaben über die Häufigkeitszahlen am Tage hat Meissner ähnlich wie die obigen für die Nacht ausgerechnet, diese aber nur ganz nebenbei verwandt. In Summen für Mai und Juni 1901—07 hat er sogar für jede Beobachtungsstunde zwischen 6 a und 9 p die Häufigkeit der Stufen mitgeteilt. Ich rechne diese in Prozenten um und berechne aus diesen auch unsere übliche Grössen g, b, b_1 und v. Die folgende Tabelle enthält die Ergebnisse:

Potsdam, Mai und Juni 1901—07.

Stufe	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	g	b	v	b_1
6a . . .	21.1	6	3	3	2*	4	4	6	6	12	33.7	45.2	60.3	44.0	59
7a . . .	19.2	9	6	2*	3	2*	4	5	7	18	26.0	54.8	57.9	55.1	58
8a . . .	19.4	6	7	4	2	2*	3	7	9	14	26.5	54.1	57.7	54.0	58
10a . . .	12.4	6	7	6	5	4*	7	6*	7	15	25.5	62.1	60.5	57.9	56
12mt. .	7.5	6	4*	6	7	7	9	10	9	17	18.3	74.2	62.9	70.4	60
2p . . .	5.9	4*	7	6	6	7	9	10	10	20	15.2	78.9	63.7	76.2	61
4p . . .	6.1	6	4*	9	8	7*	8	9	11	15	16.6	77.3	61.0	72.7	57
6p . . .	10.8	10	7	7	6	4*	8	8	8	16	16.2	73.0	55.6	70.8	54
8p . . .	16.9	11	9	7	3*	3	5	5	7	12	21.1	62.0	51.6	59.0	49
9p . . .	19.0	14	7	5	4	4	2*	7	5	13	20.6	60.4	50.1	58.8	49*
6a—9p	13.8	7.8	5.9	5.4	4.5	4.5	5.9	7.2	7.8	15.2	21.9	64.2	58.1	62.4	56.4

Schon die Verteilung der Zwischenstufen gibt deutlich an, dass die Beobachter im Tageslaufe wechseln. Nur bei der Stufe 5 kommen oft Minima vor und die äusseren Stufen 1 und 9, vor allem diese, sind durchwegs gross. Um 2 und 4 p ist g_9 sogar grösser als t, was sofort unnatürlich scheint. Meissner erwähnt nur, dass die Schätzungen zu den drei Hauptterminen 7 a, 2p und 9 p »nicht ganz die Güte der übrigen erreichen, wohl weil sie mitunter von noch nicht ganz eingeübten Beobachtern gemacht sind, die anscheinend die 9 auf Kosten von 10 bevorzugt haben». Aber es scheint auch wahrscheinlich, dass dieses allgemein geschehen ist, denn nicht nur um 7 a, 2 p und 9 p sind Veränderungen der Häufigkeitszahlen von 8 zu 9 grösser als von 9 zu 10 sondern auch am Mittag, um 4 und 6 p. Wir kommen zu diesen Stufen noch zurück, wollen aber erst den täglichen Gang der Hauptgrössen näher ansehen.

Dieser Gang ist im allgemeinen regelmässig und wohl zum grössten Teil in der Natur begründet. Für t und g ist der Gang so wie schon Köppen und Meyer meistens fanden und wie es oben auch für Helsingfors hervorging. Auch t hat dieselbe Periode wie h und die zu g entgegengesetzte, wogegen in Helsingfors t noch bis zum Abend abzunehmen schien. Die mittlere Bewölkung nimmt erst bis 8 a ab (die Schätzungen in der Nacht im Juni ergaben auch 61 %; vgl. oben), dann bis zum 2 p zu und von da ab wiederum bis zum 9 p rasch ab. Das v ändert sich wie gewöhnlich wie g und ist hier zufällig auch etwa gleich gross wie g. Nach unserer Gleichung 6) (zweite Hälfte) folgt hieraus auch, dass b_1 etwa gleich b wird, wie auch die Tabelle lehrt. Meistens ist b_1 nur 0 à 2 % kleiner als b und hat dieselbe tägliche Periode. Alle Grössen weisen jedoch kleinere Störungen des täglichen Ganges auf. So z. B. zeigt sich t um 7 a und 6 p zu klein, g und v gleichzeitig zu gross. Die Beobachtung um 10 a weicht im entgegengesetzten Sinne ab. Zwischen 10 und 12 a und zwischen 6 und 8 p hat man grössere Sprünge als sonst, wahrscheinlich durch Wechsel der Beobachter verursacht.

Der Befund, dass b etwa $= b_1$ oder $v = g$ ist, beansprucht noch einer besonderen Untersuchung. Diese Eigenschaft würde auf eine ganz bestimmte Asymmetrie der Häufigkeitskurven deuten, eine Asymmetrie, welche durch die mittlere Bewölkung b angegeben ist. Wenn man einmal $b = b_1$ hat, d. h. die mittlere Grösse von sämtlichen Bewölkungsstufen 0—10 gleich der mittleren Grösse der Stufen 1—9 ist, so ist ohne weiteres klar, dass dieses Mittel auch mit demjenigen von den Stufen 0 und 10 zusammenfällt. Nennen wir diese Grösse β, so finden wir leicht diese definiert durch

$$\beta = \frac{100\ \mathrm{t}}{\mathrm{t} + \mathrm{h}} = \frac{100\ \mathrm{t}}{100 - \mathrm{g}}$$

Diese Grösse β soll also $= b_1 = b$ sein und man würde diesen Wert bekommen, wenn man die b und b_1 nach den Formeln 2) und 3) gleich setzen würde. Man könnte auch weiter erwarten, dass, wenn einmal $\beta = b_1$ ist, d. h. das Mittel (der Häufigkeit nach) von den Stufen 0 und 10 gleich dem Mittel von 1 bis 9 ist, vielleicht auch die Mittel von 1 und 9 und von 2 bis 8 hiermit übereinstimmen. Nach der Analogie mit b, b_1 und β nennen wir das Mittel von den Stufen 1 und 9 β_1, das von 2 und 8 β_2 u. s. w., das Mittel von 2 bis 8 wiederum b_2, von 3 bis 7 b_3 u. s. w. Wie leicht einzusehen ist, haben wir für diese Grössen die Gleichungen:

$$\beta_1 = \frac{10\mathrm{g}_1 + 90\mathrm{g}_9}{\mathrm{g}_1 + \mathrm{g}_9} = 50 + 40\,\frac{\mathrm{g}_9 - \mathrm{g}_1}{\mathrm{g}_1 + \mathrm{g}_9}$$

$$\beta_2 = \frac{20\mathrm{g}_2 + 80\mathrm{g}_8}{\mathrm{g}_2 + \mathrm{g}_8} = 50 + 30\,\frac{\mathrm{g}_8 - \mathrm{g}_2}{\mathrm{g}_8 + \mathrm{g}_2} \text{ u. s. w.}$$

$$\mathrm{b}_2 = \frac{20\mathrm{g}_2 + 30\mathrm{g}_3 + \cdots + 80\mathrm{g}_8}{\mathrm{g}_2 + \cdots + \mathrm{g}_8} =$$

$$= 50 + \frac{30\,(\mathrm{g}_8 - \mathrm{g}_2) + 20\,(\mathrm{g}_7 - \mathrm{g}_3) + 10\,(\mathrm{g}_6 - \mathrm{g}_4)}{\mathrm{g}_2 + - + \mathrm{g}_8} \text{ u. s. w.}$$

Die Berechnung dieser Grössen für Potsdam 1901—07 Mai und Juni gab folgende Werte, b und b_1 des Vergleichs wegen aufs neue angeführt:

Potsdam Mai u. Juni	6a	7	8	10	12md	2p	4	6	8	9	Mittel
b	60	58	58	60	63	**64**	61	56	52	50*	58.1
b_1	59	58	58	56*	60	**61**	57	54	49	49*	56.4
b_2	**56**	53	54	50*	**56**	53	54	51	47*	50	51.9
β	61	57*	58	67	71	72	**73**	60	55	52	61.3
β_1	63	63	65	62*	68	**78**	68	60	52	49	62.8
β_2	59	53	54	49*	**63**	56*	63	52	46	46	54.2

Also ist das Mittel der Stufen 2 bis 8, b_2, schon wesentlich kleiner als b und nähert sich schon ziemlich nahe dem symmetrischen Wert, 50. Für das Mittel findet man weiter $b_3 = 51.8$ und $b_4 = 50.9$ also noch symmetrischere Werte. Die Häufigkeitskurven sind also durchgehends positiv asymmetrisch (die Abendkurven ausgenommen), aber die Asymmetrie nimmt gegen die Mitte der Kurven ab, am stärksten von den Stufen 1 und 9 gegen die Mitte. Die doppelte tägliche Periode ist wenigstens noch bis zu den Stufen 2 bis 8 etwa dieselbe als für alle Stufen.

Die unsymmetrische Häufigkeit der einzelnen Stufenpaare 0 u. 10, 1 u. 9, 2 u. 8 u. s. w. tritt in den Mittelwerten derselben β, β_1, β_2 u. s. w. noch besser zu Tage. Die grosse Schiefheit ist nach β_1 noch grösser als nach β, d. h. 9 kommt noch häufiger im Verhältnis zu 1 als 10 im Verhältnis zu 0 vor, was ja unnatürlich ist. Besonders stark ist dieses um 7 a und 2 p ersichtlich und spricht diese Zunahme wie auch der Überschuss der Häufigkeit von 9 über 1 für die grosse Vorliebe für 9. Von den Stufen 1 und 9 nimmt die mittlere Grösse der Stufenpaare gegen 5 ab; $\beta_1 = 62.8$ $\beta_2 = 54.2$, $\beta_3 = 52.8$ und $\beta_4 = 51.2$. Die Sonderstellung von β_1 ist deutlich. Der tägliche Gang dieser Grössen ist unregelmässig aber β und β_1 geben Andeutungen zu einer ähnlichen

Doppelperiode wie die Grössen *b*. Sieht man die Zahlen näher an, so kann man den Schluss ziehen, dass die Morgenextreme von *b* vor allem durch die Hauptstufen 10 und 0 bestimmt werden, das Mittagsmaximum wiederum vornehmlich durch die Stufe 9 (im Vergleich mit 1).

Zu diesen eigentümlichen Verhältnissen finden wir für Helsingfors kaum einige Spuren. Von einer täglichen Periode beim b_1 können wir nichts bemerken, sondern, von Störungen abgesehen, hält sich b_1 hier nahe bei 50. Man hat darum auch keinen Grund zu erwarten, dass b_2, b_3, b_4, β u. s. w. wesentlich von 50 abweichen. Für einige von den Zahlenreihen für Helsingfors sei dies jedoch des Vergleichs wegen näher dargelegt, sämmtliche jedoch nur im Jahresmittel:

Beobachter u. Zeit.	b	b_1	b_2	b_3	b_4	β	β_1	β_2	β_3	β_4
3 wiss. Beob. 1898, 1903—04, 2p	68.4	49.9	51.1	51.7	50.4	80	47	50	53	51
H. H. 1905—17 2p.	68.2	51.5	50.4	50.0	49.5	80	54	52	50	49
M. P. 1898—1902 7a u. 9p . . .	65.0	49.3	49.3	49.5	50.1	74	50	48	49	50
6 Beob. 16 Jahre » . . .	66.4	49.0	48.7	48.6	49.5	72	50	49	48	49
T. W. 1904—06 5p	68.1	53.7	52.1	50.0	50.3	79	58	57	50	50

Nur die Beobachter, welche b_1 etwas grösser als 50 ergeben, weisen auch eine gegen die Mitte der Skala zunehmende Symmetrie auf, stärker natürlich bei β_n als bei b_n. Sonst sind die Grössen b_1 bis b_4 und β_1 bis β_4 sehr nahe 50 % und gar nicht von β abhängig, obwohl natürlich b_1 u. s. w. auch auf *b* einwirkt (vgl. Formel 4). Ähnlich wie T. W., geben auch die Beobachtungen 1891—95 abnehmende und grosse Werte, $\beta_1 = 61$, $\beta_2 = 54$ ($\beta = 75$). Auch 1881—83 gibt $\beta_1 = 57$ (β nur 66 im Tagesmittel). Die Potsdamer Beobachtungen geben also Häufigkeitskurven, die ähnlich aber noch extremer, als die von älteren Beobachtern in Helsingfors erhaltenen, verlaufen.

Da die äusseren Stufen, vornehmlich 9 und 1 die typischen Eigenschaften der Häufigkeitskurven für Potsdam am

besten ausdrücken, wollen wir diese noch näher ins Auge fassen. Die grosse Ähnlichkeit von β_1 mit β gibt schon an, dass die Unterschiede g_1—g_9 innig von den Differenzen t—h abhängen. Sieht man g_9 und g_1 einzeln an, findet man, dass nur g_1 sich parallel mit h ändert, g_9 aber eine zu t entgegengesetzte tägliche Änderung hat. Also sind 9 und 10 Komplemente zu einander, die Summe von t und g_9 darum viel konstanter, im Tageslaufe jedoch von 45 % morgens zu 33 abends (4—9 p) abnehmend. Noch stetiger würde diese Abnahme sein, wenn man noch g_8 hinzunähme, wie folgende Zahlen zeigen. Des Vergleichs wegen seien auch die entsprechenden Summen der 3 kleinsten (0—2) und 3 mittelsten Stufen (4—6) angeführt, schliesslich auch die oben erhaltenen Sommer-, und Jahres-Werte von t in Helsingfors, (1904—06) sämmtliche in Prozenten.

Stufe	6a	7	8	10	12 mt	2	4	6	8	9p
Potsdam $t + g_9 + g_6$ . . .	51.0	50.3	49.4	47.5	44.8	45.6	42.8	40.1	40.1	38.4*
» $g_6 + g_5 + g_4$ . .	10.0	9.3	7.4	15.2	22.6	22.9	23.2	18.2	10.8	10.0
» $g_2 + g_1 + h$ . .	28.2	33.5	32.5	25.3	17.1	16.4	16.2*	27.5	37.2	39.4
H:fors, Sommer t	—	34.0	—	30.1	27.5	23.9	—	21.8	19.9	22.8
» Jahr t	—	54.0	—	51.2	48.9	46.4	—	45.0	46.4	44.5

Die Summen der Häufigkeiten der 3 niedrigsten Stufen haben also noch denselben täglichen Gang wie h allein, die mittleren Stufen den für gebrochenen Himmel (g) überhaupt typischen Gang, aber die Summen der 3 höchsten Stufen weisen wie erwähnt sehr gleichmässig von 7 a bis 9 p abnehmenden Werte auf. Eine ähnliche Abnahme zeigt schon t allein in Helsingfors. Könnte man voraussetzen, dass die Schätzungen in Helsingfors in dieser Beziehung richtig wären, so hat man hier wiederum Anzeichen davon, dass in Potsdam die Stufe 10 teilweise durch niedrigen 9, 8 u. s. w. ersetzt ist. Die verschiedenen Beobachter haben dieses offenbar in abweichendem Grade gemacht, denn man findet beinahe immer

bei Störungen des täglichen Ganges von t, dass der Gang von g_9 eine entgegengesetzte Störung aufweist. So z. B. erscheint t um 7 a, 2, 6, und 9 p verhältnismässig zu klein, g_9 zu gross.

Von Interesse ist noch, die Form der Häufigkeitskurven durch Vergleiche der Häufigkeit der äusseren mit derjenigen der mittleren Stufen (m) zu studieren. Die nächste Tabelle ist in dieser Hinsicht aufklärend:

‰	6a	7	8	10	12 mt	2 p	4	6	8	9	Med
$g_9 - m$	84	144	113	101	96	123	77	101	88	96	90
$g_1 - m$	28	56	36	8	—16	—39*	—18	40	78	**105**	18
$g_9 - m$	3.5	**5.6**	**5.6**	3.0	2.3	2.6*	2.0*	2.7	3.4	3.9	2.5
$g_1 - m$	1.8	**2.8**	2.5	1.2	0.8	0.5*	0.8	1.7	3.2	**4.1**	1.3
$\frac{g_9+g_8}{2} - m$.	53	90	90	59	55	76	54	60	59	56	55
$\frac{g_1+g_2}{2} - m$.	12	40	40	14	—27*	—24	—27*	23	16	**69**	10
$g_9+g_8 : 2m$.	2.6	3.9	**4.6**	2.2	1.8*	2.0	1.7*	2.0	2.6	**2.7**	1.9
$g_1+g_2 : 2m$.	1.4	2.3	**2.7**	1.3	0.6*	0.7	0.7	1.4	1.4	**3.1**	1.2

Die Steigung gegen die hohen Werte ist also, von Störungen abgesehen, den ganzen Tag über ziemlich konstant beinahe wie in Helsingfors. Im Verhältnis zu den mittleren Stufen nehmen die hohen jedoch mit steigender Sonnenhöhe ab und umgekehrt, wogegen dieser Quotient in Helsingfors viel konstanter bleibt und überhaupt kleiner ausfällt. Viel mehr unterscheiden sich die Orte in Betreff der kleinsten Zwischenstufen. Im Vergleich mit den mittleren nehmen sie gegen den Mittag stark ab und sind um 2—6 p sogar viel seltener als die mittleren. Auch dieses scheint sehr unnatürlich, da h noch zu dieser Zeit 6—8 % beträgt und grösser als g ist. Grosse Störungen sind wie in anderen Zahlen um 7 und 8 a, 2, 6 und 9 p zu sehen.

Zur Beurteilung der jährlichen Veränderungen der Häufigkeitszahlen am Tage in Potsdam können wir ähnlich wie

für die Nacht für Januar, Februar und Juni von Meissner berechnete Werte anwenden. Aus den obigen Mitteln für Mai und Juni können wir also auch diejenigen für Mai ableiten. Diese 4 Monate ergaben für 1901—07 im Mittel von 10 täglichen Beobachtungen im Sommer 7 a bis 9 p, im Winter von 9 Beobachtungen von 6 a bis 9 p:

1901—07 Stufe	h 0	g_1 1	g_2 2	g_3 3	g_4 4	g_5 5	g_6 6	g_7 7	g_8 8	g_9 9	t 10	g	b	v	b_1
Jan. . . .	198	44	26	19	14*	17	15	26	40	121	480	322	677	290	610
Febr. . .	83	48	30	36	18*	19	26	46	61	130	503	414	756	334	610
Mai . . .	151	76	59	47	40*	41	60	73	76	157	220	629	580	621	572
Juni . . .	125	80	59	63	50	49*	58	71	80	147	218	657	582	626	553

Wie gewöhnlich, erscheint t grösser, g und v kleiner im Winter als im Sommer, aber von h kann man nach diesen Zahlen noch keine Schlüsse ziehen, da es im Januar weit verschieden von dem Wert für Februar ist. Die Schiefheit der Kurven ist im Winter noch grösser als im Sommer, b_1 etwa 5 % grösser. Eine genauere Abhängigkeit zwischen b und b_1 ist hier nicht wie in dem täglichen Gange zu finden. Wie ihrer Summe nehmen auch sämtliche einzelne g_n vom Sommer zum Winter ab, so dass g_1 hier keine Sonderstellung und Abhängigkeit von h aufweist. Versuchsweise wurde auch β_1 gebildet und zeigte sich wie b_1 etwas grösser im Winter, 69 % statt 63 im Sommer. Auch β ist im Winter noch viel grösser, im Februar sogar 86, im Januar nur 71 %, aber beide Monate ergaben etwa gleich grosse β_1, so dass auch hier keine innigere Beziehung zwischen den Endstufen und den nächsten zu finden ist. Sieht man wiederum die Abweichung der g_1 und g_9 von den mittleren (g_4 bis g_6) an, findet man diese in allen Monaten gleich gross, etwa 3 % für g_1, etwa 10 % für g_9. Da alle Zwischenstufen im Winter überhaupt seltener sind, folgt daraus, dass die äusseren Stufen verhältnismässig langsamer vom Sommer zum Winter abnehmen. Das Verhältnis zwischen g_9 und m steigt im Januar sogar

zu 7.6. Die relative Grösse der Häufigkeitszahlen ändert sich also in der jährlichen Periode ähnlich wie in der täglichen, in Potsdam auch ungefähr so wie in Helsingfors, obwohl dieser Ort viel kleinere Krümmung gegen 9 und symmetrische Verteilung ergibt.

Zur weiteren Bestätigung und Ergänzung dieser Ergebnisse der Bewölkungsschätzungen in Potsdam habe ich noch einige andere Daten berechnet. Versuchsweise leitete ich noch nach den Schätzungen des Jahres 1912 den täglichen Gang für die 4 Stufen 0, 1, 9 und 10, welche das grösste Interesse erbieten, ab. Ich fand folgende Werte für die Häufigkeit dieser Stufen, und hieraus abgeleitete Grössen:

Häufigkeitszahlen in Potsdam 1912

Stunde	h	g_1	g_2-g_8	g_9	t	g	b	b_1	v
2a	20	1	30	4*	45	35	64	56	30
4a	17	3	25	4*	**50**	32*	67	52	25*
6a	14	6	24	7	49	37	68	50	27
7a	13	6	24*	14	43	44	68	58	37
8a	10	7	28	16	39	51	69	59	43
10a	7	9	29	18	38	56	70	57	46
12mt.	4	8	35	**20**	34*	**63**	72	**61**	**53**
2p	3	7	**38**	16	36	61	73	60	50
4p	3*	6	37	17	38	60	**73**	59	48
6p	5	**12**	31	14	39	57	69	53	44
8p	9	**12**	31	11	37	54	64	49	41
9p	21	9	22*	8	40	39	59*	48*	32
10p	**21**	0*	31	7	41	38	62	55	34
12p	18	1	31	5	45	37	64	51	29
Mittel Okt.—März .	12.6	5.4	24.0	10.6	47.4	40.0	70.2	57	32.4
» April—Sept.	10.9	6.9	35.1	12.5	34.6	54.5	64.5	55	46.3
» Jahr.	11.8	6.2	34.6	11.6	41.0	47.2	67.4	56	39.0

Im allgemeinen wiederfinden wir hier sowohl in Betreff der regelmässigen Veränderungen wie in Betreff der Störungen dieselbe Eigenschaften wie schon aus den obigen Zahlen nach Meissner. Die Schätzungen des Nachtbeobachters Fiebig von 10 p bis 4 oder 6 a geben Zahlen, die im allgemeinen ziemlich gut mit den übrigen zu koordinieren sind. Jedoch bemerkt man Sprünge vornehmlich in g_1 zwischen 9 und 10 p, in den übrigen Grössen die stärksten schon eine Stunde früher. Die Summe der Stufen 2—8, teils auch g und v scheinen verhältnismässig gross in der Nacht. Es ist kaum natürlich, dass die Summe von g_2 bis g_8 wie hier von Mitternacht bis Mittag nur mit 4 % von 31 zu 35 zunehmen würde, die Summe der beiden übrigen g_n, $g_1 + g_9$ aber von 6 zu 28 %. Man würde im allgemeinen relativ kleine g in der Nacht auch deshalb zu erwarten haben, da es überhaupt sich erwiesen hat, dass g bei geringerer Genauigkeit und schlechterer Beleuchtung kleiner ausfällt als sonst. Vielleicht ist das frühe Minimum von g und v um 4 a ein Zeichen dafür (vgl. das Temperaturminimum erst um 5 a). Der durch die früheren Zahlen angedeutete Parallelismus zwischen h und g, ist hier kaum zufinden. Von 6 bis 9 p ist g_1 am grössten und deshalb b_1 am kleinsten. Vom 10 a bis 8 p fällt das untere Häufigkeitsmaximum sogar auf die Stufe 1, statt auf 0 wie gewöhnlich. Ein anderes auffallendes Ergebnis ist das kleine Anwachsen von g und v vom Winter zum Sommer, was jedoch zum Teil auf dem trüben Sommer beruhen dürfte. Aber unnatürlich scheint jedenfalls, dass die Zunahme von g_2 bis g_8 46 %, diejenige von g_1 nur 27 und von g_9 nur 18 % beträgt. Würde man nur die Zeit 10 a bis 8 p berücksichtigen, so würde g_1 mit 4, g_9 mit 27 %, die zwischenliegenden g_2 bis g_8 wie im Tagesmittel mit 46 % vom Winter- zum Sommerhalbjahr zunehmen. Die Krümmung der Häufigkeitskurven zwischen 1 und 9 erscheint somit im Winter grösser als im Sommer und die Stufen 1 und 9 treten hier wie in anderen Eigenschaften als von der Schätzungsmetode stark abhängig hervor.

Vergleicht man die erste und letzte Schätzung des Nacht-

beobachters mit der nächsten des wissenschaftlichen Beobachters, so erhält man für dasselbe Jahr 1912 folgende Häufigkeitszahlen und deren Differenzen:

Stufe	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
6 o. 7a u. 9p . .	109	60	28	34	22	10	16	21	36	70	316
4 o. 6a u. 10p .	135	13	51	31	31	11	22	25	41	42	330
Diff. morgens . .	16	—16	9	—6	1	4	6	5	—3	—26	10
» abends . .	0	—31	14	3	8	—3	0	—1	8	—2	4
» Summe . .	16	—47	23	—3	9	1	6	4	5	—28	14

Die wesentlichsten Unterschiede kommen also, wie auch aus früherem hervorging, bei den extremeren Stufen 0—2 und 8—10 vor und die Zeichenwechsel geben an, dass gewisse von diesen Stufen von einem der Beobachter auf Kosten von naheliegenden Stufen bevorzugt sind. Wie früher finden wir auch hier, dass die wissenschaftlichen Beobachter vornehmlich in Betreff der Stufe 9 anders als die Nachtbeobachter schätzen.

Da es nahe liegen würde anzunehmen, dass die grosse Häufigkeit von 9 in Potsdam durch ein Ersetzen von 10⁰ durch 9 entstanden wäre, habe ich für 2 Termine des Jahres 1912, 12 mt und 8 p, die wesentlich verschiedene g_9 aufweisen, auch die Fälle mit 10^0, 9^0 und 1^0 bis 8^0 aufgesucht und fand folgende Zahl der Fälle:

1912	10	10^0	9	9^0	1—8	1^0—8^0
12mt	123	2	73	8	157	63
8p	137	6	38	3	159	70

Also kommt wirklich 10^0 sehr selten vor, um 12 mt nur zweimal und beide in Dezember. Auch die Wolkendecke 9 wäre hiernach selten als leicht zu bezeichnen, in etwa 10 % der

Fälle, wogegen andere Stufen im Mittel etwa in 40 % der Fälle als leicht bezeichnet sind.

Weiter suchte ich die Stufe 9 durch Heranziehen der Sonnenscheinregistrierungen zu prüfen und fand, dass im Mittel von den 73 Fällen mit der Bewölkung = 9 um 12 mt, im Jahre 1912 die Wahrscheinlichkeit für Sonnenschein 28 % war. Beinahe genau dieselbe Zahl wurde auch für 1911 erhalten. Man könnte glauben, dass diese Zahl schon genügend gross ist und dass also keine Unterschätzung hier vorliege, aber wenigstens gibt Pawlowsk noch grössere entsprechende Werte. Probeweise wurden die Jahren 1906 und 1910 für diesen Ort herangezogen und fand ich für die Bewölkung 9 um 1 p, die Sonnenscheindauer um 12—2 p zu 70 (1906) bzw. 48 % (1910), also grössere Werte als für Potsdam. Damit dürfte eine Bestätigung für die Annahme, dass wenigstens 10^0 durch 9 ersetzt ist, gefunden worden sein, denn z. B. für Pawlowsk findet man die Sonnenscheindauer bei 10^0 noch grösser als bei 9, in Mittel von je 11 Fällen der beiden Jahren zu derselben Zeit 87, bezw. 56 %. Hieraus könnte man also schliessen, dass ausser 10^0 auch dickere Wolkendecken 10 mit 9 ersetzt sind. Dieses scheint wiederum bei wissenschaftlichen Beobachtern weniger wahrscheinlich. Die einzige noch übrigbleibende Erklärung wäre wohl die, dass die Wolkendecke 9 eine für Potsdam lokal bedingte Stufe wäre.

Ist dieser Erklärungsversuch richtig, müssen aber die kleinen Lücken in der Wolkendecke vornehmlich in der Nähe des Horizontes auftreten, denn weder die eingangs erwähnten Polarsternregistrierungen noch diejenige der Sonnenscheindauer geben davon Kunde. Dass die Eigenschaften der Bewölkungsergebnisse für Potsdam jedenfalls nicht für eine grössere Umgebung gelten, zeigt ein Vergleich mit Berlin, den ich versuchsweise nach den Beobachtungen des Jahres 1910 ausgeführt habe. Die Werte von g_1, g_9 und unsere gewöhnlichen Hauptgrössen wurden:

1910	h	g_1	g_2 bis g_8	g_9	t	g	b	b_1	v
7a	12	4	28	10	46	42	69	54	33
Berlin 2p	6	4	38	10	42	52	73	59	42
9p	15	11	29	4	41	44	58	40	30
Mittel	11	6	32	8	43	46	67	51	35
7a	15	3	27	14	41	44	68	60	39
Potsdam 2p	10	3	35	21	32	59	70	67	55
9p	25	4	30	9	32	43	55	53	45
Mittel	16	3	30	15	35	49	64	59	45

In Berlin wäre also h und g kleiner, t grösser als in Potsdam. Entgegengesetzt zu h und t verhalten sich g_1 bezw. g_9, so, dass die Summen $h + g_1$ und $t + g_9$ näherungsweise gleich sind an den beiden Orten. Für Berlin ist g_1 abweichend gross abends, g_9 dann abweichend klein, b_1 darum sehr klein, 40 %. Überhaupt ist $g_9 — g_1$ bestimmend für b_1. Um 2p ist darum b_1 wegen der kleinen g_1 noch grösser als wir früher fanden. Alle diese Unterschiede wie auch die beträchtlichen in v, besonders abends, sind wahrscheinlich zum grossen Teil auf die Schätzungsmethoden zurückzuführen. In Betreff der grossen Unterschiede in g_9 scheint hier wiederum die Erklärung in der Bezeichnung der leichten Wolkendecke zu liegen, denn Berlin hat 90-mal (8 %), Potsdam nur 9 mal (1 %) 10 angemerkt.

Weil die Stufe 1, wie wir sehen, in dem Jahre 1910 viel seltener als im Jahre 1912 aufgezeichnet wurde, habe ich auch das zwischenliegende Jahr 1911 in dieser Beziehung herangezogen und seien hier die Grössen h_1 t_1 b_1 g_1 und g_9 in Potsdam für diese 3 Jahre zusammengestellt:

	h			t			g_1				g_9				b		
	7a	2p	9p	7a	2p	9p	7a	2p	9p	Med	7a	2p	9p	Med	7a	2p	9p
1910.	15	10	25	41	32	32	3	3	4	3	14	21	9	15	68	70	55
1911.	12	5	21	39	27	35	11	6	9	9	11	20	9	13	64	69	56
1912.	13	3	21	43	36	40	6	7	9	6	14	16	8	13	68	73	59
Med.	13	6	22	41	32	36	7	5	7	6	13	19	9	14	67	71	57

Das Jahr 1911 hat also noch grössere g_1 als 1912 aufzuweisen und überhaupt scheint g_1 noch mehr als g_9 für Wechsel der Beobachter empfindlich.

Weil die Tagesschätzungen in Potsdam von wissenschaftlichen Beobachtern ausgeführt sind, habe ich mich eingehender als sonst bei diesen aufgehalten. Ich habe die eigenartigen Ergebnisse derselben möglichst vielseitig beleuchtet und glaube auch einige Umstände hervorgebracht zu haben, die darauf deuten, dass diese Schätzungen noch in gewissen Hinsichten mangelhaft sind und von der Schätzungsmethode der verschiedenen Beobachter abhängen. Endgültigere Nachweise dieser Fehler können nur durch genauere Kentnisse der lokalen Verhältnisse, der eventualen Wechselzeiten der Beobachter, der Instruktionen u. s. w. erforscht werden.

2) *Pawlowsk und Petersburg.*

Für Pawlowsk liegen Häufigkeitszahlen von Laurenty[1]) berechnet vor und diese sind auch von Köppen und Meyer (l. c.) angewandt. Diese gelten für die Jahre 1880—83 und zwar hat Laurenty dieselben zur Prüfung der Schätzungen der 3 wechselweise tätigen Beobachter Danilow, Metz und Mielberg in entsprechende 3 Gruppen geteilt. Da Laurenty bei seinen eingehenden Vergleichen alle Anhaltspunkte für die Beurteilung der absoluten Fehler, insbesondere in Fällen, wo alle Beobachter ähnliche Zahlen lieferten, entbehrte, und da ich ausserdem früher gefunden habe[2]), dass die Bewölkung in Pawlowsk in Vergleich zur Sonnenscheindauer fortwährend gestiegen ist, war es von Interesse, diese ältere Zahlen Laurentys mit einigen neueren zu vergleichen. Darum berechnete ich die Häufigkeitszahlen für 2 Jahre 1906 und 1910, die annähernd eine für die letztere Zeit normale Bewölkung aufweisen. Ausserdem habe ich teils für andere Zwecke die Hauptgrössen

---

[1]) Repert. für Meteor. X 1885.

[2]) Bidrag t. kännedom af Finl. Natur o. Folk, H. 72, N:o 5.

h, *g*, *t* u. s. w. für die zwischenliegenden Jahre 1888—90 ausgerechnet. Die Ergebnisse, verglichen mit denjenigen Laurentys sind:

Stufen		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1880—83	Danilow. .	6	11	7	3	3	2	3	4	4	8	49
	Metz	8	12	5	2	2	4	5	4	5	8	45
	Mielberg . .	10	10	7	5	4	3	3	3	4	6	45
	1906	7	6	4	3	3	2	3	4	4	7	56
	1910	7	4	4	5	2	2	2	3	4	6	60
Mittel	1880—83	7.9	11.0	6.2	3.2	3.1	3.4	3.8	3.5	4.3	7.3	46.3
	1906 u. 10	7.1	4.8	4.2	4.4	2.6	2.1	2.7	3.7	4.1	6.2	58.1

		h	g	t	b	b—t	b_1	v	0—2	8—10	Diff.
1880—83	Danilow. .	5.9	45.2	48.9	69.9	21.0	46	30	23.1	61.1	38.0
	Metz	8.3	47.0	44.7	66.8	22.2	47	33	26.0	57.0	31.0
	Mielberg .	9.6	45.0	45.4	65.1	19.7	43	30	26.2	65.6	29.4
	Mittel . . .	7.9	45.8	46.3	67.2	20.9	46	31	25.1	57.9	32.8
	1888—90 .	9.0	40.0	51.0	70.2	19.2	48	27	—	—	—
	1906 u. 10 .	7.1	34.8	58.1	75.9	17.8	51	23	16.1	68.2	52.1

Im Laufe der Zeit hat also *b* beträchtlich zugenommen und zwar durch eine entsprechende Zunahme von *t* und bei einer Abnahme von *g*. Die Zahl des heiteren Himmels ist wenig verändert, jedenfalls nicht regelmässig. Weiter sehen wir, dass die alten Schätzungen sehr unsymmetrisch ausfielen und zwar ist b_1 klein, wogegen die neueren Bestimmungen ziemlich symmetrische Werte ergeben. Der Anteil der Stufen 1—9 an der Bewölkung hat sowohl absolut, (*b*—*t*), wie im Verhältnis zu der Bewölkung, *v*, abgenommen. Wie schon b_1 angibt, ist die Verteilung auf den Zwischenstufen in den alten Schätzungen negativ unsymmetrisch, d. h. das grosse *g* vornehmlich durch g_1 und g_2 verursacht. Die Stufe

1 kommt in den alten Beobachtungen sogar häufiger als 0 vor, und zwar ist der Überschuss am grössten bei Danilow. Dieses Maximum bei g_1 ist nur vorübergehend bei Laurenty erwähnt, aber scheint das Hauptmerkmal dieser alten Schätzungen zu sein. Die Ursache hierzu liegt offenbar in einer Unterschätzung der Wolkendecke, wie auch die kleinen t und b angeben. Wie schon in der Einleitung auseinandergesetzt wurde, sprechen die grossen g_1 und g_2 und kleinen b_1 dafür, dass bei der Schätzung Rücksicht auf die Dicke der Wolken genommen ist. Mielberg hat dieses wohl in höherem, Danilov in kleinerem Masse als die übrigen getan, jener darum auch die grössten, dieser die kleinsten h und grössten t erhalten. Bei der Reduktion der Bewölkungsgrade wegen der Dichte haben Danilow und Metz, offenbar in geringerem Masse auch Mielberg, die Zahl 0 vermieden.

Köppen und Meyer haben in Betreff dieser Zahlen Laurentys vor allem nur hervorgehoben, dass die ungeraden Stufen in diesen häufiger (im Mittel 5.7 %) als die geraden (4.4 %) sind. Diese Eigenschaft ist aber nicht allgemein vorhanden, sondern beruht der Befund Köppens und Meyers ausschliesslich auf der grossen Häufigkeit der Stufe 1, denn lässt man diese Stufe ausser Rechnung, so wird die Häufigkeit der übrigen ungeraden Stufen nur 4.3, beinahe genau wie diejenigen der geraden.

Um Vergleiche des täglichen Ganges nach den neuen und alten Beobachtungen zu gestatten, seien hier die Prozentzahlen für die 3 Termine angeführt:

		h 0	g_1 1	g_2 2	g_3 3	g_4 4	g_5 5	g_6 6	g_7 7	g_8 8	g_9 9	t 10	g	b	b_1	v
1880—83	7a	7.8	12	6	3	3	3	3	3	3	7	49.8	42.4	68.0	43	27
	1p	5.4	9	6	3	4	4	5	5	6	9	44.6	50.0	70.3	51	37
	9p	10.7	12	7	4	3	3	4	3	4	6	44.1	45.2	63.3	42	30
1888—10	7a	9.8	8	←			« 20.1 »			→	6	55.6	34.6	71.4	46	22
	1p	6.0	5	←			« 30.6 »			→	8	51.1	42.9	73.9	53	31
	9p	11.1	10	←			« 27.0			→	6	46.4	42.5	65.4	45	29
1906, 10	7a	8.5	5	4	4	2	1	2	2	4	5	61.7	29.8	76.4	49	19
	1p	4.2	4	4	4	3	3	3	6	5	7	56.3	39.5	78.3	56	28
	9p	8.5	5	5	5	2	2	2	3	3	6	56.5	35.0	73.3	48	23

Der tägliche Gang ist also in den 3 Reihen im allgemeinen übereinstimmend. Die Jahre 1888—90 weichen jedoch darin ab, dass t noch nachmittags abnimmt, aber das gleichzeitig unveränderte g ist offenbar unrichtig. Noch in der neuen Reihe ist die Abnahme von g und v von 2 p bis 9 sehr klein. Der tägliche Gang von g_1 ist umgekehrt zu derjenigen von g überhaupt, ähnlich wie wir es schon für Potsdam angedeutet fanden und die neueren Schätzungen in Pawlowsk geben dasselbe noch schwach an. In Potsdam schien der Wechsel der Beobachter im Tageslaufe hierbei von Bedeutung zu sein, aber ob eine ähnliche Ursache in Pawlowsk vorhanden ist, muss dahingestellt bleiben. Der grosse tägliche Gang von b_1 würde hierfür sprechen. In Helsingfors fanden wir diese Eigenschaften nicht. Alle 3 Beobachter der Jahren 1880—82 in Pawlowsk stimmen sowohl in dieser wie in anderer Hinsicht überein. Es sei jedoch erwähnt, dass M i e l b e r g die grössten g und v an Sommerabenden fand, was offenbar naturwidrig ist.

Um den täglichen und jährlichen Gang nach den neueren Schätzungen sicherer beurteilen zu können, habe ich für das Lustrum 1906—10 die Hauptgrössen h, g, t, b, b_1 und v berechnet:

Pawlowsk 1906—10.

	h			g			t			b			b_1			v		
	7a	1p	9p	7a	1p	9p	7a	1p	9p	7a	1p	9p	7a	1p	9p	7a	1p	9p
Winter	6	4	9	14	15	12	80	81	79	87	90	86	49	60	57	8	10	8
Frühjahr	12	5	14	35	46	40	53	49	47	71	74	66	50	54	49	24	34	29
Sommer	13	3	8	46	64	60	41	33	32	66	74	64	53	63	53	37	55	50
Herbst	6	5	13	29	37	34	66	58	54	80	79	67	52	56	39	19	26	20
Jahr	9.2	4.4	10.8	30.9	40.2	36.4	60.0	55.4	52.8	76.0	79.0	70.6	52	59	49	21.2	29.9	25.2

Sehen wir erst die Jahresmittel an, finden wir die Ergebnisse der 2 Jahren 1906 und 1910 im allgemeinen bestätigt. Der tägliche Gang von *h*, *g*, *t* und *v* ist ähnlich wie in Helsingfors. Die tägliche Amplitude von *g* und *v* ist jedoch viel kleiner als in Helsingfors. Vor allem scheint die kleine Abnahme dieser Grössen nachmittags, u. a. auch im Sommer sehr verdächtig, denn man würde hier eine grössere Amplitude als in Helsingfors erwarten. Auch fanden wir in Helsingfors keinen täglichen Gang für b_1 wie hier. Diese Umstände würden darauf deuten, dass die Beobachter in Pawlowsk zu den 3 Terminen verschiedene waren. Die Zunahme von *b* zwischen 7 a und 2 p beruht nur auf der Zunahme von b_1 und ist deshalb in Helsingfors nicht vorhanden. Durchgehends ist *t* grösser, *h* kleiner als in Helsingfors, *b* deshalb grösser. Mittags ist *g* etwa gleich gross an den beiden Orten, morgens und abends aber grösser in Pawlowsk, wie die kontinentalere Lage erwarten lässt. Der jährliche Gang ist im allgemeinen sehr gut übereinstimmend. Sogar die doppelte Periode von *h* um 9 p und 2 p ist auch in Pawlowsk gut wiederzufinden.

Von Interesse ist es, die Schätzungen in Pawlowsk mit derjenigen an dem Zentralobservatorium in Petersburg zu vergleichen, weshalb für diesen Ort die entsprechenden Grössen der Jahren 1906 und 1910 berechnet wurden:

		g_1 1	g_2 2	g_3 3	g_4 4	g_5 5	g_6 6	g_7 7	g_8 8	g_9 9
P:burg 1906 und 1910	7a	5	4	2	2	1	2	4	4	4
	1p	5	5	4	3	2	4	7	5	6
	9p	5	4	3	2	2	2	4	5	7
	Mittel	4.8	4.1	3.0	2.2	1.9	2.4	4.6	4.6	5.7
Pawlowsk		4.8	4.2	4.4	2.6	2.1	2.7	3.7	4.1	6.2
	Diff.	0.0	—0.2	—1.4	—0.4	—0.2	—0.3	0.9	0.7	—0.6

	h 0	t 10	b	g	b_1	v
7a	15.3	57.5	71.0	27.2	50	19
1p	7.0	52.9	74.1	40.1	53	29
P:burg 1906, 10 9p	17.2	50.5	67.1	32.3	51	25
Mittel	13.2	53.6	71.1	33.2	53	25
Pawlowsk	7.1	58.1	75.9	34.8	51	23
Diff.	6.1	—4.5	—4.8	—1.6	2	2

Die Verteilung auf den Zwischenstufen ist etwa gleich an den beiden Orten. Eine schwache Vorliebe in Petersburg für 7, in Pawlowsk für 3 scheint hervorzugehen. Von den Hauptgrössen ist h in Petersburg grösser (6 %), t aber 4 und g 2 % kleiner, b darum 5 % kleiner als in Pawlowsk, wogegen b_1 und v etwa gleich sind. Da die Unterschiede um 1 p am kleinsten, um 9 p am grössten sind, können sie kaum von der verschiedenen Entfernung zum Meer bedingt sein. Die tägliche Amplitude von g ist in Petersburg grösser als in Pawlowsk, was wiederum für den Einfluss von Beobachterwechsel in Pawlowsk sprechen würde. Auch der kleinere tägliche Gang von b_1 in Petersburg deutet hierauf.

Ausser an dem Zentralobservatorium werden in Petersburg auch u. a. an dem Forstinstitut daselbst Schätzungen der Bewölkung ausgeführt. Die extremen Stufen 0 und 10 wurden nach diesen Beobachtungen für 1906 und 1907 [1]) aufgesucht und zeigten sich viel häufiger als an dem Observatorium und als in Pawlowsk, die Zwischenstufen also viel seltener. Bildet man die Unterschiede gegen Pawlowsk für diese 2 Jahren und ähnliche Unterschiede, Zentralobservatorium weniger Pawlowsk, für die 2 Jahre 1906 und 1910, so kann man beide Reihen auf die 5-jährige Periode 1906—10 nach Pawlowsk reduzieren und erhält somit folgende vergleichbare Zahlen für 1906—10:

---

[1]) Observations de l'Observatoire météorol. de l'Inst. Imp. forestier de S:t Pétersbourg. 1908 u. 1909.

	h				g				t			
	7a	1p	9p	Mitt.	7a	1p	9p	Mitt.	7a	1p	9p	Mitt.
Pawlowsk . . .	9	4	11	8.1	31	40	36	35.8	60	55	53	56.1
Zentralobs. . .	16	7	20	14.2	29	41	34	34.2	56	52	47	51.6
» 1870—75	11	5	12	9.6	44	58	47	49.7	45	36	44	40.8
Forstinstitut .	20	10	27	18.9	14	29	18	20.7	66	61	55	60.4
	b				b_1				v			
Pawlowsk . . .	76	79	71	75.2	52	59	49	53.3	21	30	25	25.4
Zentralobs.. . .	71	74	65	69.8	51	54	53	53.2	21	30	28	26.1
» 1870—75	68	67	63	66.2	52	53	47	51.2	34	46	35	38.4
Forstinstitut .	74	76	64	71.5	57	52	52	53.6	11	20	15	15.5

Die grossen Abweichungen der Schätzungen am Forstinstitut sind hier auffallend, *g* 15 % kleiner als in Pawlowsk, *h* 11 % grösser. Des kleinen *g* wegen wird auch *v* sehr klein, wogegen *b* eine Mittellage zwischen den übrigen Stationen einnimmt. Gerade das verhältnismässig grosse *b* gibt an, dass nicht allein eine eventual umgebaute Lage die Ursache zu der kleinen *g* an dem Forstinstitut ist, sondern es müssen wohl die Schätzungen ziemlich roh ausgeführt worden sein. Nur b_1 stimmt im Tagesmittel an allen Orten überein und beträgt etwa 53 %. Der tägliche Gang von b_1 ist jedoch am Forstinstitut abweichend von den beiden anderen Orten. Es sei noch hervorgehoben, dass die tägliche Schwankung von *g* (und *v*) nach den Schätzungen am Forstinstitut bedeutend grösser als an den Vergleichsstationen ausfällt. Da *t* und *h* auf Kosten von *g* vergrössert werden, kann man auch erwarten, dass die Krümmung der Häufigkeitskurven zwischen 1 und 9 klein wird, denn vornehmlich werden wohl die Stufen 1 und 9 durch 0 bezw. 10 ersetzt. Beim Nachsehen in dem Jahrgange 1907 wurde diese Annahme auch bestätigt, indem diese äusseren Stufen im Mittel nur 1.3 mal so viel als die zwischenliegenden übrigen Stufen (2—8) vorkamen, an dem Zentralobservatorium gleichzeitig aber etwa 2.0 mal so oft.

Die Daten für das Zentralobservatorium stimmen besser als die übrigen mit unseren normalen Zahlen für Helsing-

fors überein (vgl. S. 39) aber die Ergebnisse an dem Forstinstitut würden dagegen mehr den späteren Schätzungen in Helsingfors (um 7 a und 9 p) ähneln, *g* noch kleiner als bei diesen ausfallen. In der letzten Tabelle sind auch Jahresmittel nach den Beobachtungen in den Jahren 1870—75 an dem Zentralobservatorium in Petersburg angeführt. Diese Jahrgänge sind von Köppen und Meyer (l. c.), für einzelne Monate berechnet und hieraus sind die obigen Jahresmittel gebildet. Diese Zahlen unterscheiden sich ganz wesentlich von den übrigen, insbesondere *g*, *t* und *v*. Merklich ist, dass die älteren Schätzungen in Helsingfors (1891—95) Pawlowsk und Petersburg sehr gut übereinstimmen. Insbesondere stimmen Helsingfors und Petersburg überein, jener Ort hat nur 3 % grössere *h* und 4 % kleinere *g* als dieser. Pawlowsk weicht vornehmlich durch grössere *t*, kleinere b_1 und *v* ab. Sogar in dem täglichen Gange findet man, dass die älteren Bestimmungen in Helsingfors und Petersburg ähnliche Abweichungen von den neueren aufweisen. So zeigt z. B. *t* sein Minimum mittags, in den neueren Beobachtungen erst abends. Die Abnahme *b*:s vom Morgen zum Mittag ist eine andere Eigenschaft der alten Bestimmungen.

3) *Wien.*

Ein von den Orten, in denen die Bewölkung ähnlich wie in Pawlowsk im Laufe der Zeit bedeutend gestiegen ist, ist Wien. In den Jahren 1871—90 hält sich die mittlere Bewölkung dort etwa bei 58 %, ist um 1900 herum zu etwa 62 und in späteren Jahren zu 65—70 % gestiegen. Es ist darum von Interesse zu sehen, wie die Häufigkeitszahlen hierbei verändert sind. Köppen und Meyer hatten schon für die Jahren 1876—85 die Häufigkeit der 3 Hauptgruppen 0, 1—9 und 10 berechnet. Obermayer hat die Häufigkeitszahlen für jede Stufe der Jahren 1903 und 1904 abgeleitet und um die Verhältnisse in späteren Jahren zu prüfen, habe ich noch die 2 letzten mir zugänglichen Jahrgänge

1910 und 1911 untersucht. Das Jahr 1904 war 4 % trüber als 1903, 1910 4 % trüber als 1911. Um den Einfluss der Bewölkung auch in den älteren Jahren zu beurteilen, habe ich auch das trübste (1878) und heiterste (1885) von den von Köppen und Meyer angewandten Jahren besonder geprüft. Für die einzelnen Jahre und in 10-, bewz.-2-jährige Mittel wurden somit folgende Werte erhalten:

Jahr	h	g	t	b	b—t	b_1	v
1878	13.3	45.5	41.3	63.5	22.2	49	35
1885	22.9	45.6	31.8	52.4	21.6	45	39
1876—85	18.5	44.2	37.5	58.2	20.7	47	36
1904	16.5	42.0	41.5	64.4	22.9	54	36
1903	19.4	45.4	35.2	60.1	24.9	55	41
1903—04	17.9	43.7	38.4	62.2	23.9	55	38
1910	7.7	48.8	43.5	71.7	28.2	58	40
1911	9.4	52.3	38.4	67.6	29.2	56	43
1910—11	8.5	50.6	41.0	69.6	28.7	57	41

Vergleichen wir hier erstens die Mittelwerte, finden wir in diesen Veränderungen von wesentlich anderer Art als für früher untersuchte Orte. Während sowohl Helsingfors, Pawlowsk und Petersburg abnehmende g aufwiesen, gibt Wien für 1876—85 und 1903—04 ziemlich identische g, in den Jahren 1910—11 wiederum 6 à 7 % grössere Die beiden älteren Reihen weisen etwa gleich grosse g, h und t auf. Die Zunahme von b ist hier beinahe ausschliesslich durch die Zunahme von b_1 (oder $b—t$) zustandegekommen (vgl. Formel 4). Während bei den ältesten Schätzungen die kleineren Zwischenstufen vorgezogen sind und b_1 somit 3 % kleiner als 50 wurde, hat man in Anfang dieses Jahrhunderts die höheren Stufen bevorzugt und als Mittelwert dieser Zwischenstufen 55 % erhalten. Später steigt b_1 noch etwa 2 %, aber diese Steigung hat jedoch jetzt eine verhältnismässig kleinere Bedeutung für b, wogegen die Zunahme von

t mit 3 und von *g* mit 7 % viel mehr zu der Steigung von *b* (etwa 7 %) beiträgt. Nur in Helsingfors zwischen den 1880-er und 1890-er Jahren ist eine ähnliche Veränderung zu finden, denn *b* stieg dann mit 5, *t* mit 1, *g* mit 6 und b_1 mit 2 %, *h* nahm dagegen mit 7 % ab.

Sehen wir die einzelnen Jahre an, finden wir, dass in allen Jahrespaaren das trübe Jahr durch kleinere *h*, *g* und *v* und grössere *t* als das heitere sich kennzeichnet. Da *v* und *g* im Laufe der Zeit mit zunehmender *b* gestiegen sind, deutet dieses ausser anderen Umständen darauf, dass die Zunahme von *b* keine natürliche ist.

Über den Gang der Häufigkeitskurven und den Einfluss der Tageszeit geben folgende Zahlen Auskünfte:

		h 0	g_1 1	g_2 2	g_3 3	g_4 4	g_5 5	g_6 6	g_7 7	g_8 8	g_9 9	t 10	g	b	b_1	v
1878 . . .		133	78	67	54	16*	28	43	37	64	68	413	45.5	63.5	49	35
1885 . . .		229	102	66	43	31	29	21*	39	57	64	318	45.6	52.5	45	39
1903 . . .		194	47	44	47	36	**57**	35*	41	52	98	352	45.4	60.1	55	41
1904 . . .		165	48	48	47	24	**51**	17*	48	32	107	415	42.0	64.4	54	36
1910 . .		77	40	43	**60**	46	13*	30	**73**	70	111	435	48.8	71.7	58	40
1911 . . .		94	68	48	**61**	38	21*	36	**82**	54	113	384	52.3	67.6	56	43
1878 u. 1885	7	155	122	79	45	12	11*	21	30	78	63	383	46.2	59.0	45	35
	2	101	92	66	69	37*	47	48	62	67	86	326	57.3	60.6	49	46
	9	288	56	55	32	21*	29	27	22	37	48	386	32.6	54.2	48	29
Med.		181	90	67	49	23	29	32	38	61	66	365	45 4	57.9	47	37
1910 u. 1911	7	72	58	56	**64**	52	11*	16	**53**	44	116	456	47.2	71.8	55	36
	2	56	42	29	**56**	44	18*	49	**124**	68	144	367	57.7	72.3	62	49
	9	128	63	52	**62**	30	22*	33	55	74	76	406	46.6	65.0	52	38
Med.		85	54	46	**61**	42	17	33	**77**	62	112	410	50.5	69.7	57	41

Der Gang der Häufigkeitskurven zeigt in dem mittleren Teil einige Störungen. In den ältesten Jahren treten Minima bei 4 oder 6 auf und es scheint als wäre der Beobachter im Jahre 1885 ein anderer als 1878 gewesen (vielleicht nur zeitweise). Die Jahren 1903—04 weisen eine Vorliebe für 5

deutlich auf, wogegen 4 und 6 vermieden sind. Die letzten Jahren haben dagegen deutliche Minima bei 5, Maxima bei 3 und 7, ähnlich wie bei gewissen Beobachtern in Helsingfors.

Von den Zwischenstufen 1—9 weisen die Endstufen 1 und 9 sehr deutliche Änderungen auf. Bei den ältesten Schätzungen fällt g_1 viel grösser als bei den späteren aus, etwa 9 % gegen 5. Umgekehrt war g_9 früher kleiner (etwa 6 à 7) als in diesem Jahrhundert (10 bis 11 %). Der Unterschied $g_9 - g_1$ ändert sich also beträchtlich, von — 2.4 zu 5.4 und 5.8 %. Eine ähnliche Änderung der Asymmetrie gab schon b_1 an, und eine nähere Untersuchung zeigt, dass die Asymmetrie beinahe ganz in diesen Endstufen steckt. Bildet man z. B. $g_2 - g_8$, findet man keine deutliche Ähnlichkeit mit $g_1 - g_9$ und überhaupt kleine Werte. Die mittlere Bewölkung der Stufen 2 bis 8 (oder b_2 vgl. S. 62) ist auch sehr nahe bei 50, in den Jahren 1878—1904 etwa 49, 1910—11 etwa 51 %. Durch grosse g_1 und negative Asymmetrie zeigt die alte Reihe sich mit den gleichzeitigen Schätzungen in Pawlowsk verwandt, wogegen die neuesten Schätzungen in Wien durch grosse g_9 und positive Asymmetrie den Schätzungen in Potsdam ähneln.

Der tägliche Gang der drei Hauptgruppen h, g und t ist nach den alten und neuen Schätzungen in Wien etwa gleich. Der Gang von h und g stimmt ungefähr mit demjenigen der bisher betrachteten Orte überein, aber derjenige von t zeigt durch die Zunahme von 2 p bis 9 p nur mit Potsdam und den alten Schätzungen in Petersburg Übereinstimmung. Die verschiedenen g_1 haben im allgemeinen wie ihre Summe g ihre Maxima mittags aber vornehmlich die kleinsten Stufen weichen jedoch hiervon ab, indem g_1 und g_2 in den alten Beobachtungen das Maximum morgens, das Minimum abends, in den neuen wiederum (auch g_3) das Minimum mittags ähnlich wie h aufweisen. Die letzte Eigenschaft fanden wir wenigstens bei g_1 deutlich in den älteren Beobachtungen für Pawlowsk, teils auch in Potsdam. Die erwähnten Unterschiede in dem täglichen Gange von g_1 bis g_3 verursachen hauptsächlich auch die verschiedene Abnahme von g zwischen

2 und 9 p, in der alten Reihe 25, in der neuen nur 11 %. Die Vergrösserung von g im Laufe der Zeit hat nur abends stattgefunden, denn um 7 a und 2 p geben beide Reihen etwa dieselben Werte g. Dagegen ist die Veränderung von b_1 um 9 p viel kleiner als um 7 a und 2 p. Die Steigung von b ist somit zu verschiedenen Tageszeiten auf verschiedene Art geschehen, um 7 a durch Grösserwerden teils von t teils von b_1 (vgl. Formel 4), um 2 p vornehmlich durch b_1, um 9 p dagegen durch Vergrösserung von g.

Die neuen Schätzungen in Wien sind also vornehmlich durch grosse b, b_1 und g gekennzeichnet. Wir haben hier einen Fall mit unsymmetrischen (und stark gekrümmten) Häufigkeitskurven, die hohe Mittel ergeben, wogegen wir bisher im allgemeinen nur bei niedrigen Werten ähnliche Eigenschaften fanden. Mit gleichzeitigen Schätzungen in Potsdam zeigen diejenigen in Wien in Betreff von b_1 und g (u. a. g_1 und g_9) grosse Ubereinstimmung, aber t und b sind in Wien 6 à 10 % grösser. Eine Unterschätzung durch Rücksichtsnahme auf die Dichte können wir somit kaum für die neue Wienerreihe annehmen, aber eine solche ist für die älteren Reihen wahrscheinlich. Vielleicht ist im Gegenteil eine Überschätzung vorhanden. Wie diese zustande kommt, müsste durch besondere Untersuchungen noch festgestellt werden. Jedenfalls ist die neue Reihe nicht ganz vertrauenswürdig, wofür u. a. auch die Vorliebe für 7 und 3 spricht.

4). *Paris.*

Für Paris, Parc Saint Maur, liegen bekanntlich Ergebnisse der Bewölkungsschätzungen in selten anzutreffendem Umfange vor. A n g o t hat den täglichen und jährlichen Gang der mittleren Bewölkung eingehend bearbeitet [1]). Diese Daten sind darum auch als typisch für Europa in Lehr- und Handbüchern (z. B. von H a n n) angewandt. Die Pariser-

[1]) Annales der Bureau Central Méteor. de Francé Annee 1881 Memoires S. B. 137.

Reihe beansprucht weiter auch deshalb Interesse, weil dieselbe nach den Jahresmitteln beurteilt, ziemlich homogen ist und keine zeitliche Steigung, ähnlich wie z. B. Helsingfors, Pawlowsk, Petersburg und Wien aufweist. Dieses ist aus folgendem 5-jährigen Mittel (*b*) näher zu ersehen, wo auch des Vergleichs wegen einige Mittel der Sonnenscheindauer (*s*) nach Monreaux[1]) hinzugefügt sind.

	1876—80	1881—85	1886—90	1891—95	1896—00	1901—05	1906—10
b	62	60	59	55	57	60	57
s	—	34	36	40	37	—	—
b+s . . .	—	94	95	95	94	—	—

Sämtliche Bewölkungsmittel sind wahre 24-stündliche Tagesmittel, bis 1890 nach Angot, für 1891—1903 den Annalen entnommen, für die letzten Jahren nach 1903, da Schätzungen nur von 6 a bis 9 p ausgeführt werden, auf 24 stündliche Mittel durch Zufügen der Korrektion + 2.5 % (nach Angot) erhalten. Wie man sieht, sind die Schwankungen, welche die 5-jährigen Mittel aufweisen, reel, indem die Sonnenscheindauer ähnlich schwankt. Wollte man eine fortlaufende Änderung hier wiederfinden, so ist diese jedenfalls nicht zunehmend, sondern früher schwach abnehmend.

Von Interesse ist es, die Häufigkeitszahlen für diese Reihe anzusehen, weshalb ich probeweise sämmtliche Stufen für 7 a, 2 p und 9 p in den beiden Jahren 1878 und 1910, welche ziemlich gleich grosse Mittel aufweisen (24-st. 1878=66, 1910 = 65), aufgesucht habe. Die Ergebnisse waren:

[1]) Meteor. Zeitschr. 1907. S. 380.

Stufe		0 h	1 g_1	2 g_2	3 g_3	4 g_4	5 g_5	6 g_6	7 g_7	8 g_8	9 g_9	10 t	1—9 g	b	b_1	v
1878	7a. . .	16.5	4	2	2	1*	**3**	1*	3	3	**7**	58.1	25.4	72.3	56	20
	2p . .	8.2	4	4	4	3*	4	3*	5	**6**	5	53.7	38.1	74.3	54	28
	9p . .	29.8	5	2	3	1*	4	2	1*	2	2	47.4	22.8	57.0	42	17
	Mittel	18.2	4.6	2.6	2.9	1.5	3.7	1.8	3.3	3.7	4.7	53.1	28.8	67.9	51	22
1910	7a. . .	19.2	3	3	2*	2	3	2*	**8**	1*	6	51.2	29.6	68.0	57	25
	2p . .	6.6	2*	5	4	**7**	5	**15**	6	4*	6	40.0	53.4	69.3	55	42
	9p . .	26.8	4	3	3	3	4	3	**6**	2*	5	39.5	33.7	57.1	52	31
	Mittel	17.5	3.0	4.0	2.9	4.0	3.8	6.3	6.6	2.6	5.8	43.6	38.9	64.8	55	33
2 J. Mittel		17.8	3.8	3.3	2.9	2.8	3.8	4.0	5.0	3.2	5.2	48.4	33.8	66.4	53	27

Wie ziemlich überall, bemerkt man auch hier die Vorliebe des Beobachters für gewisse Stufen und das Vermeiden von anderen. Im Jahre 1878 ist so z. B. 5 auf Kosten 4 und 6 beliebt, im Jahre 1910 um 2 p im Gegenteil 4 und 6 auf Kosten von 5 vorgezogen, allgemein auch 7 viel häufiger als 8 notiert. Die Krümmung der Häufigkeitskurven ist verhältnismässig schwach und vor allem ist im Jahre 1910 beinahe keine regelmässige Krümmung wenigstens von 1 bis 6 zu ersehen. Nur die Stufen 7 und 9 kommen abweichend häufiger vor. Aber jedenfalls ist die Steigung zu 9 keineswegs so stark, wie wir für Potsdam und Wien fanden, g_9 hier 5, gleichzeitig in Potsdam 15, in Wien 11 %. Die Folge ist, dass b_1 für Paris kleiner ausfällt und im Tagesmittel nicht viel von dem Symmetriewert 50 abweicht.

Obwohl einzelne Jahre noch keine sicheren Aufschlüsse über eventuale Veränderungen geben können, scheint jedoch hervorzugehen, dass h ziemlich unverändert geblieben ist, wogegen t etwa 10 % abgenommen, g (und v) im Gegenteil gleich viel zugenommen haben. Der tägliche Gang dieser 3 Haupgrössen (auch von b, b_1 und v) ist in den beiden Jahren sehr ähnlich und etwa so, wie wir für Helsingfors und Pawlowsk es fanden, für h und g auch an den anderen Orten. Die Zwischenstufen scheinen jedoch anzugeben, dass Beobachter-

wechsel im Tageslaufe die Zahlen in gewissen Hinsichten beeinflusst hat.

Da *h*, *g* und *t* in den Jahren 1910 und 1911 für Wien, Potsdam und Helsingfors (reduziert) berechnet sind, habe ich auch für Paris und Berlin dieselben Grössen für 1911 gebildet und stelle hier die Zahlen für die 5 Orte zusammen:

	1910							1911						
	h	g	t	b	b—t	b_1	v	h	g	t	b	b—t	b_1	v
Potsdam	16	49	35	64	29	59	45	13	53	34	63	29	55	47
Wien	8	49	44	72	28	58	40	9	52	38	68	29	56	43
Paris	18	39	44	65	21	55	33	30	35	35	52	17	49	32
Berlin	11	46	43	67	24	51	35	9	56	35	64	29	52	45
Helsingfors	17	30	53	68	15	(50)	22	18	37	45	64	19	(50)	30

Von den Eigenschaften der Schätzungen, welche durch diese Zahlen hervorgehen, sei nur diejenige hier hervorgehoben, dass *g* und *v* in Paris beträchtlich kleiner als in Potsdam und Wien ausfallen, im Jahre 1911 sogar kleiner als in Helsingfors. Teils sind diese Unterschiede wohl durch die verschiedene Kontinentalität, teils offenbar durch die Schätzungsmethoden bedingt. Die Grössen *t* stimmen besser überein, *h* ist wiederum (besonders 1911) in Paris abweichend gross. Durch ziemlich symmetrische Werte von b_1 ähneln Paris und Berlin einander.

Im Jahre 1910 war die mittlere Bewölkung in Paris 7, im Jahre 1911 sogar 16 % kleiner als in Wien, aber im Jahre 1878 war dieselbe umgekehrt in Paris 4 % grösser. Hierbei war in diesem Jahre *t* 12 % grösser in Paris, *g* aber 16 % kleiner als in Wien, wogegen wie erwähnt *t* an den beiden Orten in späteren Jahren übereinstimmen. Diese gegenseitige Änderungen sind offenbar durch die Schätzungsmethoden verursacht. Auch die Schätzungen in Paris sind — nach den Störungen der Zwischenstufen zu beurteilen — nicht ganz einwandfrei, und vielleicht ist hier Rücksicht auf die Dichte genommen.

Um den täglichen Gang der Hauptgrössen *h*, *g*, *t* und *b* in Paris genauer kennen zu lernen, habe ich dieselben für jede Beobachtungsstunde 6 a bis 9 p in den zwei Jahren 1910 und 1911 berechnet.

1910—11	Winterhalbjahr			Sommerhalbjahr			Jahr					
	h	g	t	h	g	t	h	g	t	b—t	b'	v
6a	20	23	57	28	42	30	24	32	44	18	56	29
7	19	21*	**60**	**29**	41*	**30**	24	31*	**45**	17*	55	27*
8	16	26	58	27	44	29	21	35	43	21	**60**	33
9	16	24	59	25	49	26	21	37	42	20	54	32
10	15	_26_	_59_	23	_51_	_26_	19	_39_	_42_	_22_	56	_34_
11	13	34	53	20	58	22	17	46	38	26	57	41
12	12	35	54	18	60	21	15	48	37	28	58	43
1p	11	38	50	17	63	19	14	51	35	30	59	46
2	9*	**41**	49	16	66	18	13	54	34	30	56	47
3	10	**41**	48*	14*	**69**	17*	12*	**55**	32*	**32**	58	**50**
4	11	38	51	17	65	18	14	51	34	28	55	45
5	_13_	_35_	**52**	18	63	19	16	49	35	26	53	43
6	22	26	**52**	_21_	_60_	20	21	43	**36**	22	51*	38
7	27	21*	51	30	48	22	29	35	**36**	19	54	35
8	30	23	48	39	40	22	34	32*	35	17	53	33
9p	30	25	45	40	40*	20	35	32	33*	17	53	34
Med.	17.1	29.8	52.9	23.9	53.7	22.4	20.6	41.9	37.6	23.3	55.6	38.3

Mittlere Bewölkung (b).

	Winter			Sommer			Jahr			1873—90 weniger 1907—11		
	1873—90	1907—11	1910—11	1873—90	1907—11	1910—11	1873—90	1907—11	1910—11	Wint.	Somm.	Jahr
6a	69.6	67.7	69	54.8	54.2	55	62.2	60.9	62	1.9	0.6	1.3
7	71.1	70.2	71	55.9	54.6	53	63.5	62.4	62	0.9	1.3	1.1
8	**71.2**	**72.6**	**73**	57.2	**56.5**	**56**	64.2	**64.6**	64	—1.4	0.7	—0.4
9	71.2	70.5	72	58.0	55.8	53*	64.6	63.2	62	0.7	2.2	1.4
10	71.5	70.3	73	59.3	56.3	55	65.4	63.3	64	1.2	3.0	2.1
11	71.7	69.9	72	60.9	58.0	56	66.3	64.0	64	1.8	2.9	2.3
12	71.6	**70.9**	73	62.6	59.0	**58**	67.1	**65.0**	65	0.7	3.6	2.1
1p	**71.9**	70.1	**73**	**62.7**	**59.3**	58	**67.3**	64.7	65	1.8	3.4	2.6
2	71.3	69.5	72	62.3	58.0	56	66.8	63.8	64	1.8	4.3	3.0
3	70.3	69.3	71	62.5	**58.6**	56	66.4	63.9	64	1.0	3.9	2.5
4	69.2	66.8	70	59.8	56.8	55	64.5	61.8	62	2.4	3.0	2.7
5	67.3	66.3	69	58.1	54.3	53	62.7	60.3	61	1.0	3.8	2.4
6	65.4	62.5	66	54.6	51.4	49	60.0	56.9	58	2.9	3.2	3.1
7	62.4	59.8	62	51.2	47.7	47	56.8	53.7	55	2.6	3.5	3.1
8	61.8	56.0	59	46.8	46.1	45	54.3	51.0	52	5.8	0.7	3.3
9	61.5	57.7	58	44.3	42.9	42	52.9	50.3	50	3.8	1.4	2.6
Med.	68.7	66.9	68.9	56.9	54.3	52.9	62.8	60.6	60.9	1.8	2.6	2.2

Die umstehenden Tabellen geben die Ergebnisse für das Winter- und Sommerhalbjahr und das ganze Jahr an. Im Jahresmittel sind auch b_1 und v ausgerechnet. Da es von Interesse war, durch neuerere Beobachtungen den von Angot abgeleiteten täglichen Gang des Mittels b etwas sicherer als durch 2-jährige Mittel zu bestätigen, habe ich die 5-jährige Periode 1907—11 in dieser Richtung untersucht. Diese Mittel für die 2 Jahreshälften und das Jahr sind in der obigen Tabelle angeführt, ausserdem des Vergleichs wegen auch entsprechende Mittel für 1873—1890, aus den Monatswerten bei Angot abgeleitet[1]). Die Stundenmittel 10 p bis 5 a, welche in der Tabelle nicht gut einzupassen waren, seien hier noch besonders zugefügt:

	10p	11	12	1a	2	3	4	5	24 st. Mittel
Winter . .	60.9*	61.0	62.0	62.8	64.0	65.0	65.6	67.6	67.0
Sommer . .	42.5*	43.0	44.2	45.0	47.4	49.2	50.6	53.4	53.6
Jahr	51.7*	52.0	53.1	53.9	55.7	57.1	58.1	60.5	60.3

Die von Angot benutzte Reihe 1873—90 zeigte, wie zu ersehen ist, ein einziges tägliches Maximum um 1 p und ein Minimum um 10 p. Die neue Reihe 1907—11 weist aber ein doppeltes Maximum um 8 a und etwa 12 mittags mit einem zwischenliegenden sekundären Minimum um 9 oder 11 a auf. Im Sommer und im Jahresmittel ist das Mittagsmaximum grösser, so dass Paris dem Typus 4 nach Liznar[2]) anhören würde, nach den älteren Beobachtungen aber dem Typus 1. Das Morgenmaximum scheint jedoch im Sommer und im Jahresmittel mehr als eine Störung aufzufassen sein, indem ein kleiner Sprung zwischen 8 und 9 a stattfindet. Vielleicht ist diese Störung durch Wechsel der Beobachter hervorgerufen.

---

[1]) Wie *v. Hann* schon bei der Besprechung der Arbeit *Angots* in Met. Z. 1893 s. 457 erwähnt hat, fehlen hier die Jahresmittel des täglichen Ganges und ebenso fehlen dieselben der einzelnen Jahrgängen in den Annalen.

[2]) Österr. Zeitschr. f. Meteor. 1885 XX s. 249.

Die 3 Hauptgruppen *h g* und *t* haben Hauptextreme um 3 p, *h* und *t* Minima, *g* sein Maximum. Das Maximum von *t* trifft um 7 a ein, und gleichzeitig scheint *g* wenigstens ein sekundäres Minimum anzunehmen. Das Maximum von *h* tritt spät abends ein. Der trübe Himmel scheint einen kleineren Scheitelwert um 5—6 p im Winter, undeutlicher auch um 7—8 p im Sommer anzunehmen. Wie gewöhnlich, ändern sich *b*—*t* und *v* ähnlich wie *g*, und b_1 hat wiederum eine sehr schwache und unregelmässige Periode, welche derjenigen von *b* ähnelt. Im allgemeinen hat man hier Übereinstimmung mit den Ergebnissen in Potsdam. Ähnlich wie dort, scheinen auch hier Störungen durch Wechsel des Beobachters aufzutreten. So z. B. dürften die Extreme um 7 a kaum natürlich sein, da dieselben im Winter und Sommer zu derselben Stunde auftreten und somit von dem Sonnenaufgang unabhängig sind. Auch deuten einige Sprünge, z. B. in *g* und *t* zwischen 10 und 11 a, auf Wechsel des Beobachters an. Die Änderung von *h* und *g*, im Winterhalbjahr zwischen 5 und 7 p, im Sommerhalbjahr eine Stunde später geschieht auch ziemlich sprungartig.

5) *Uppsala, Stockholm und Kristiania.*

Für Uppsala haben schon K ö p p e n und M e y e r die 3 Hauptgrössen *h*, *g* und *t* nach den 3-jährigen Beobachtungen Juni 1865—Mai 1868 abgeleitet. Ich habe schon früher [1]) hervorgehoben, dass die hierbei erhaltenen *g* verdächtig gross sind, etwa gleich gross, wie die streng kontinentalen sibirischen Orte ergeben. Ich habe aber auch gezeigt, dass spätere Jahren (1908 und 1910) mit einer im Mittel normalen Bewölkung beträchtlich kleinere *g* ergeben, 35 statt 51 %. Andererseits ist die mittlere Bewölkung in Uppsala bis in die letzte Zeit sehr konstant geblieben, wie die Zusammenstellung H a m b e r g s lehrt. Dagegen zeigt die norwegische Hauptreihe für Christiania ähnlich wie diejenigen für Hel-

[1]) »Bidrag» u. s. w. H. 72 N:o 5 Ss. 29—30.

[2]) Bihang t. Met. iakttag. i Sverige Vol. 50. 1908. S. 4.

singfors, Pawlowsk u. s. w. deutlich zunehmende Mittel. Um dieses näher und übersichtlicher darzulegen, seien hier 5-jährige Mittel für Uppsala, Stockholm, Christiania, Aas, Helsingfors und Pawlowsk zusammengestellt. Um eine noch bessere Übersicht zu gewinnen, seien alle Zahlen auch in Abweichungen von denjenigen für Uppsala ausgedrückt:

	Pawlowsk	Helsingfors	Stockholm	Uppsala	Christiania	Aas
1876—80. . .	—	—	64 +2	62	55 —7	—
81—85. . .	67 + 3	60 —4	64 0	64	61 —3	—
86—90. . .	69 + 7	61 —1	65 +3	62	63 +1	54 — 8
91—95. . .	70 + 8	64 +2	62 0	62	65 +3	52 —10
96—00. . .	74 +10	67 +3	65 +1	64	67 +3	61 — 3
1901—05. . .	76 +15	66 +5	62 +1	61	64 +3	62 + 1
06—10. . .	75 +10	66 +1	70 +5	65	68 +3	64 — 1
11—15. . .	—	68 +3	69 +4	65	68 +3	63 — 2

Die Reihe für Uppsala ist also sehr homogen. Nur die letzten 10 Jahren geben etwa 2 % höhere Mittel als die früheren Jahrzehnte (auch 1866—75 = 63 %). Beinahe ähnlich ist die Reihe für Stockholm, wo die Steigung jedoch etwas grösser als in Uppsala ist, 4 % statt 2 %. Die Mittel für Christiania steigen in den 20 ersten Jahren fortwährend etwa 10 %, aber bleiben in den 5 letzten Lustren sehr gleichlaufend mit Uppsala, 3 % grösser als für diesen Ort. Am Aas, in der Nähe von Christiania, wo sich nunmehr das Hauptobservatorium Norwegens befindet, ist die Bewölkung etwa 1897 mit etwa 8 % gestiegen, aber noch etwa 4 % niedriger als in Christiania geblieben. Die Steigung der Bewölkungsmittel in Helsingfors und Pawlowsk ist früher mehrmals besprochen. Unter den 4 hier untersuchten skandinavischen Orten zeigt Aas in dem letzten Jahrzehnt 1906—15 das niedrigste Mittel (64 %), danach Uppsala (65), wogegen Christiania 68 und Stockholm 69 % aufweisen. Es scheint jedoch, als wäre die Bewölkung in Uppsala nach 1914 wie-

derum etwas gestiegen, denn 1915 und 1916 geben 71 %, 3 bezw. 1 % grössere Zahlen als Christiania, 1917 freilich 3 % kleinere (58 bezw. 61 %). Diese Jahre waren offenbar in unseren Gegenden ausserordentlich trüb, in Stockholm 1915 somit sogar 76, in Helsingfors 1916 74 %, 1917 sehr heiter.

Dass die Bewölkungsmittel für Uppsala und Stockholm im allgemeinen, ähnlich wie für Paris, ziemlich konstant geblieben sind, dürfte darauf beruhen, dass man hier, wie die betreffenden Anleitungen lehren, noch bis in die letzte Zeit mehr oder weniger Rücksicht auf die Dichte der Wolken nimmt. Hierüber habe ich in meiner früheren Studie (l. c. S. 68 u. f.) mich eingehend geäussert. In Norwegen wird aber die internationale Vorschrift wenigstens seit 1888 (vielleicht schon in früheren Auflagen der Anleitung) befolgt.

Obwohl, wie erwähnt, die mittlere Bewölkung in Uppsala sich nicht wesentlich verändert hat, haben sich, wie auch früher schon gezeigt ist, die Häufigkeitszahlen beträchtlich verändert. Ich will dieses hier näher erläutern. Nach den 3 Hauptbeobachtungen um 8 a, 2 und 9 p habe ich die Häufigkeitszahlen vollständig für die Jahren 1871, 1908, 1910, 1915 und 1916 berechnet. Das erste Jahr war für die ältere Zeit ziemlich normal, 1910 für die neuere, 1908 wiederum sehr heiter, 1915 und 1916 sehr trüb. Nach Monats- und Jahreszeitenmittel für 1865—68, berechnet von K ö p p e n und M e y e r, seien auch die Jahreszeiten- und Jahresmittel für die Stufen 0, 1, 9 und 10 mitgeteilt. Die Mittel für die 3 Jahren 1908, 1910 und 1915 können als ziemlich normal für die spätere Zeit betrachtet werden.

Stufen / Jahr	0 h	1 g_1	2 g_2	3 g_3	4 g_4	5 g_5	6 g_6	7 g_7	8 g_8	9 g_9	10 t	1—9 g	b	b_1	v
1865—68 8a+2p+9p	10.3	10.2	(2 bis 8 med. = 4.5)							8.8	39.1	50.6	63.2	47	38
1871 „	13.6	10.0	5.7	4.0	3.8	3.1	2.6	5.0	5.4	6.4	40.5	45.9	62.1	47	35
1908 8a+2p+9p . .	20.3	5.6	4.9	5.8	3.7	2.7	3.3	4.8	4.6	5.8	38.6	41.1	58.6	42	34
1910 „ . .	18.8	5.2	3.6	3.5	2.4	2.2	3.1	4.0	3.9	4.5	48.0	33.2	65.1	51	26
1915 „ . .	16.7	3.6	3.4	2.9	2.8	1.0	1.3	3.6	3.8	4.2	56 7	26.6	71.0	55	21
1916 „ . .	18.1	3 2	3.3	2.2	1.3	0.7	1.5	2.1	4.2	5.6	58.2	23.7	71.4	56	18
1908, 10, 15	18.6	4.8	4.0	4.1	3.0	2.0	2.6	4.1	4.1	4.8	47.8	33.6	64.9	51	26
1865—68 { 8a . .	10.3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	44.2	45.4	64.6	45	31
1865—68 { 2p . .	6.8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	35.3	57.8	66.1	53	47
1865—68 { 9p . .	13.7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	37.8	48.6	58.8	43	36
1908, 10, 15 { 8a .	17.1	4.8	3.6	3.2	2.6	1 2	2.5	3.7	3.7	4.2	53.4	29.5	68.0	50	21
1908, 10, 15 { 2p . .	12.1	4.2	4.2	4.0	3.7	3.5	3.6	6.6	5.0	6.0	47.2	40.7	69.5	55	32
1908, 10, 15 { 9p . .	26.8	5.4	4.1	4.9	2.6	1.3	1.6	2.1	3.6	4.3	43.5	29.7	57.2	46	24

	1865—68								1908, 10, 15							
	h	g_1	g_9	t	g	b	b_1	v	h	g_1	g_9	t	g	b	b_1	v
Winter	8	8	7	57	35	73	46	22	14	2	2	68	18	78	54	13
Frühjahr	14	10	8	35	50	59	48	43	27	6	5	37	36	55	49	32
Sommer	6	13	12	27	67	59	48	54	17	8	7	33	50	58	49	43
Herbst	12	10	8	38	49	62	49	39	17	4	4	55	28	69	50	21
Med.	10.3	10.2	8.8	39.1	50.6	63.2	47	38	18.7	4.8	4.8	48.2	33.1	64.9	50	26

Ich will mich nicht bei allen Einzelheiten, welche hieraus hervorgehen, aufhalten, hebe nur einige Umstände in Betreff der Veränderungen der Zahlen im Laufe der Zeit hervor. Wir sehen, dass ähnlich wie in Helsingfors und Petersburg h und t zugenommen, g abgenommen haben. Von den einzelnen g_n weisen die extremen, vornehmlich g_1, die grösste Abnahme auf. Die Krümmung der Häufigkeitskurven hat also im Laufe der Zeit auch hier wie an anderen Orten abgenommen. Dass b nicht wesentlich wie an anderen Orten zugenommen hat, beruht auf der Zunahme von h. Wie in Helsingfors und Petersburg weichen die alten Werte von den neueren auch darin ab, dass t sein Minimum mittags und nicht abends bekommt. Mit den alten Schätzungen in Pawlowsk stimmen diejenigen in Uppsala durch kleine b_1 überein, die im Laufe der Zeit zunehmen; erst 47, in den letzten Jahren etwa 55 sind. Im Tagesmittel ist b_1 jedoch in unserem 3-jährigen neuen Mittel nahe 50 in allen Jahreszeiten, Winter ausgenommen, hat aber wie früher einen deutlichen täglichen Gang mit einem Maximum mittags und Minimum abends ähnlich wie b. Wie gewöhnlich zeigt v ähnliche Eigenschaften wie g.

Obwohl man in Schweden nicht die internationalen Vorschrift in Betreff der Nichtberücksichtigung der Dichte der Wolken befolgt, scheint es also, als wären Veränderungen im Laufe der Zeit vorsichgegangen, ähnlich wie an Orten, wo gerade die Berücksichtigung dieser Vorschrift die Änderung hervorgerufen zu haben scheint. Vielleicht hat man also auch in Uppsala in späteren Zeit diese Vorschrift, abweichend von der allgemeinen schwedischen Anleitung, zu befolgen versucht oder jedenfalls die unbestimmten Ausdrücke der betreffenden Stelle der Anleitung (vgl. l. c. S. 74) jetzt anders als früher aufgefasst. Ziemlich sicher dürfte sein, dass die alten Schätzungen mit grossen g, vornehmlich g_1, (im Sommer sogar viel grösser als h) unrichtig sind, teilweise wohl auch durch eine übertriebene Berücksichtigung der Erscheinungen am Horizonte entstanden sind (vgl. oben bei Gråhara).

Eine Untersuchung der Häufigkeitszahlen für Stockholm in den 3 Jahren 1873, 1908 und 1915 gab folgende Ergebnisse:

Stufe: Grösse:	0 h	1 g_1	2 g_2	3 g_3	4 g_4	5 g_5	6 g_6	7 g_7	8 g_8	9 g_9	10 t	1—9 g	b	b_1	v
1873	16.8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	45.5	37.7	62.5	45	27
1908	11.1	8.1	3.0	**7.4**	4.1	0.0*	5.2	**6.4**	4.8	14.2	35.7	53.2	65.2	55	45
1915	6.2	5.2	3.0	**5.2**	2.6	0.9*	3.5	3.8	6.2	13.4	49.9	43.8	76.1	60	35
1908 u. 15 8a	7.0	7.8	3.6	**7.0**	2.7	0.6*	**4.4**	4.1	4.5	13.7	45.2	47.6	71.6	56	37
1908 u. 15 2p	4.8	4.8	2.5	**5.5**	4.1	0.5*	5.3	7.2	7.4	17.6	40.2	55.0	74.7	63	46
1908 u. 15 9p	14.2	7.4	3.0	**6.4**	3.1	0.3*	3.8	4.0	4.7	10.1	43.0	40.8	65.6	55	34
Die Abweichungen von Uppsala in den 2 Jahren 1908 und 1915 sind:															
1908	—9.2	2.5	—1.9	1.6	0.4	—2.7	1.9	1.6	0.2	8.4	—2.9	12.1	6.6	3	11
1915	—10.5	1.6	—0.4	2.3	—0.2	—0.1	2.2	0.2	2.4	9.2	—6.8	17.2	5.1	5	14

Eine Proberechnung des Jahres 1873 zeigte, dass hier noch die früher angewandte 5-stufige Skala (0—4) sehr stark geltend gemacht ist, indem die Stufen 1, 4, 6 und 9 beinahe ganz fehlten, weshalb die Häufigkeit der Zwischenstufen hier nicht angeführt ist. Es ist auch unter diesen Verhältnissen verständlich, dass h und t verhältnismässig gross, g klein ausgefallen sind (vgl. die abweichenden alten Werte für Uppsala). Die neueren Schätzungen zeigen noch einige Unregelmässigkeiten, ein Häufigkeitsmaximum bei 3, ein ausgesprochenes Minimum bei 5 und sehr häufig die Stufe 9. Die Grösse b_1 ist auch sehr gross, 55—63 %, etwa 4 % grösser als in Uppsala. Ähnlich ist g etwa 15, v 12 % grösser, aber h 10 und t 5 % kleiner als gleichzeitig in Uppsala gefunden wurde. Im allgemeinen erinnern die alten Werte für Uppsala besser als die neueren an die neueren in Stockholm. Jedoch weichen b und b_1 in entgegengesetzter Richtung ab, sind m. a. W. sehr gross in Stockholm. Beinahe in allen Beziehungen ähneln die Werte für Stockholm sehr stark den neuen Werten für Wien. An beiden Orten finden wir grosse b, b_1, g, g_9 und v, kleine h und t. Sogar die Maxima finden wir bei den Stufen 3 und 7 wieder, (diese auch in Stockholm 1908), das ausgesprochenene Minimum bei 5. Auch der tägliche Gang der Häufigkeitszahlen ist in Wien und Stockholm meistens ähnlich, z. B. darin, dass t von 2 zu 9 p zunimmt und g_1 bis g_3 das Minimum mittags aufweisen, Eigenschaften, die auch in Potsdam zu finden waren. Die Krümmung der Häufigkeitskurven ist in Stockholm noch grösser als in Wien, indem das Verhältnis $g_9 : m$ (m wie früher $= (g_4 + g_5 + g_6) : 3$) in Stockholm 5.1, in Wien nur 3.6, $g_1 : m$ wiederum 2.4 gegen 1.7 ist (für Uppsala geben die symmetrischen Kurven in beiden Fällen das Verhältnis 1.9).

Um die Art der Bewölkungsschätzungen in Kristiania kennen zu lernen, habe ich die Hauptgruppen h, g und t und daraus abgeleitete Grössen probeweise für die Jahre 1873—74 und 1908—16 berechnet. Die Ergebnisse waren:

Kristiania.

Stufe Grösse	Kristiania 0 h	1—9 g	10 t	b	b—t	b_1	v	Zahl der Nebeltage Krist.	Aas	Aas b
1873	17	58	25	53	28	49	53	—	—	—
1874	12	62	26	57	31	50	54	52	—	—
1908	20	29	52	65	13	45	20	31	49	62
1909	13	32	55	72	17	54	24	26	30	66
1910	13	37	50	68	18	49	26	57	45	64
1911	14	44	43	66	23	52	35	73	36	58
1912	11	33	56	73	17	51	23	136	53	69
Mittel	14.2	35.0	51.2	68.8	17.6	50.2	25.6	65	43	63.8
1913	9	49	42	67	25	51	37	152	40	60
1914	7	51	42	67	25	49	37	107	29	63
1915	9	46	45	68	23	50	34	61	31	64
1916	7	43	50	70	20	47	29	41	21	68
Mittel	8.0	47.2	44.8	68.0	23.2	49.2	34.1	90	30	63.8

Die Jahre 1873—74 zeigen, wie gross *g* und *v*, wie klein *t* und *b* ausfallen, wenn, wie früher üblich war, Rücksicht auf die Dichte der Wolken genommen wurde. Bemerkenswert ist, dass b_1 hierbei ziemlich normal ausfiel. Die neueren Jahre 1908—16 habe ich oben in zwei Gruppen geteilt, weil, wie man sieht etwa zwischen 1912 und 1913 eine merkliche Veränderung, wahrscheinlich durch Beobachterwechsel, eingetreten ist. Wie zu ersehen ist, unterscheiden sich nämlich die 5- bezw. 4-jährigen Mittel wesentlich, nur diejenigen für *b* und b_1 nicht.

Verglichen mit den Werten für Stockholm (S.) und Uppsala (U.) zeigen diejenigen in Kristiania (K.) wechselnde Unterschiede. Im Jahre 1873 ist *g* in K. 20 % grösser, *t* ebensoviel kleiner als für S. Das Jahr 1908 hat umgekehrt *g* in K. 24 % kleiner, *h* 9 und *t* 16 % grösser als in S., *g*

13 % kleiner und t 13 % grösser als in U. Im Jahre 1915 (u. 1916) ist wiederum g für K. 2 % grösser als in S., 20 % grösser als in U., wobei t 5 % kleiner als in S., 12 % kleiner als in U. ausfällt.

Werkwürdig ist, dass in Kristiania die Häufigkeitskurven zwischen 1 und 9 die ganze Zeit ziemlich symmetrisch waren, b_1 etwa 50 %, obwohl besonders t sehr viel gewechselt hat. Obwohl die von den Stufen 1—9 gelieferte mittlere Bewölkung unverändert 50 war, ist das von den Stufen 0 und 10 gebildete Mittel von 64 % in den alten zu 85 % in den neuesten gestiegen. Abweichend von den meisten früher betrachteten Reihen, wo Rücksicht auf die Dichte der Wolken genommen ist, finden wir hier in den alten Beobachtungen in Kristiania, dass diese Methode nicht die Symmetrie der Zwischenstufen beeinflusst hat, oder dass die Endstufen 0 und 10 keine Wirkung auf die naheliegenden Stufen ausgeübt haben.

Es könnte jedoch möglich sein, dass die Krümmung der Kurven verschieden ausfällt, obwohl dieselben immer symmetrisch sind. Deshalb sind die Stufen 1 und 9 für einige Jahre mit dem Mittel der übrigen Stufen verglichen, wie unten näher zu ersehen ist:

Jahr / Stufe	1873	1908	1912	1914	1915	1916
1	8.6	4.2	3.8	6.8	6.8	7.9
9	8.8	3.6	5.1	9.8	7.6	6.9
2—8	5.8	3.0	3.5	5.0	4.5	4.1
Verhältnis	1.5	1.3	1.3	1.7	1.5	1.8

Das zuletzt angegebene Verhältnis zwischen dem Mittel der beiden Stufen 1 und 9 einerseits und dem Mittel der 7 übrigen Zwischenstufen ist ziemlich dasselbe im Jahre 1873 wie 1914—16, d. h. auch die Krümmung der Kurven ist wenig verschieden. In den Jahren 1908—12, da g und sämtliche g_n am kleinsten ausfallen, ist die Krümmung auch am kleinsten, das erwähnte Verhältnis nur 1.3 statt 1.5 bis 1.8.

Der tägliche Gang der Hauptgrössen wird im Mittel für 1908—12 und 1913—16 der folgende:

		h	g	t	b	b—t	b_1	v
1908—12	8a	13.6	30.6	55.8	71.8	16.0	52	22
	2p	9.4	42.4	48.2	70.8	22.6	53	32
	8p	20.0	32.2	47.8	63.6	15.8	49	25
1913—16	8a	6.5	43.5	50.0	70.8	20.8	48	29
	2p	4.2	55.6	40.2	68.2	28.0	50	41
	8p	12.2	44.3	43.5	64.8	21.3	48	33

Im allgemeinen besteht in dem täglichen Gange Übereinstimmung in den beiden Reihen. Jedoch ist zu bemerken, dass in den Jahren 1908—12 eine kleine Abnahme von *t* zwischen 2 und 8 p zu finden ist, wogegen die späteren Jahre eine Zunahme von 3 % aufweisen. Diese Jahre stimmen also in dieser Beziehung mit anderen Reihen überein, die wir früher mehr oder weniger verdächtig fanden, wie diejenigen in Stockholm, die älteren in Uppsala, Helsingfors, Petersburg u. s. w. In allen Beziehungen stimmen die Jahre 1908—12 am besten mit den neueren Werten für Uppsala und unseren normalen für Helsingfors überein.

Da die Jahren 1908—12 somit die zuverlässigsten Werte zu liefern scheinen, habe ich die Häufigkeitszahlen für jede Stufe und für die beiden extremen Jahre 1908 und 1912 wie folgt berechnet:

Stufe		0 h	1 g_1	2 g_2	3 g_3	4 g_4	5 g_5	6 g_6	7 g_7	8 g_8	9 g_9	10 t	1—9 g	b
1908		19.6	4.2	3.8	3.6	2.0*	3.4	2.0*	3.3	2.9	3.6	51.5	28.9	65.4
1912		11.1	3.8	3.6	4.5	3.6	2.5	1.4*	3.6	5.3	5.1	55.8	33.1	72.9
1908 u. 12	8a.	16.1	2.5	2.6	3.8	2.9	1.8*	2.3	2.3	3.0	3.7	59.0	24.9	71.7
	2p.	10.4	4.1	4.6	5.5	2.7	4.5	1.5*	5.2	5.1	6.0	50.5	39.1	70.8
	8p.	19.7	5.5	3.8	2.9	2.7	2.5	1.2*	2.7	4.2	3.3	51.6	28.7	64.9
	Med.	15.4	4.0	3.7	4.1	2.8	2.9	1.7*	3.4	4.1	4.3	53.7	30.9	69.1

Kleinere Störungen sind hier noch ersichtlich, aber jedenfalls geht die schon erörterte symmetrische und gerade Gestalt der Häufigkeitskurven deutlich hervor. Die mittlere Häufigkeit der Stufen 1—3 ist 3.9, diejenige der Stufen 4—6 2.5 und diejenige für 7—9 wiederum 3.9. Das Verhältnis zwischen dem Mittel der Endstufen 1 und 9 und dem Mittel der Mittelstufen 4—6 ist 1.7, ähnlich wie in Uppsala und etwas kleiner als in Helsingfors (2.0).

Schlussbemerkungen:

Die Ergebnisse der obigen Studien der Bewölkungsschätzungen an einigen Hauptstationen Europas können kaum kurz zusammengefasst werden, sondern wir müssen im allgemeinen auf die angeführten Tabellen verweisen. Überhaupt zeigte es sich, dass an diesen Observatorien ähnlich wie an Stationen niedriger Ordnung grosse Verschiedenheiten in den Schätzungsergebnissen vorkommen, abhängig von persönlichen, metodischen, lokalen u. a. Umständen. Im allgemeinen hat man kein Mittel, zu beurteilen, welche Schätzungsergebnisse die richtigsten sind. Gewisse Umstände die mit einiger Wahrscheinlichkeit hervorzugehen schienen, waren u. a.:

1) Die Häufigkeitskurven dürften im europäischen Klima zwischen den Stufen 1 und 9 ziemlich geradlinig verlaufen und zu den Endstufen 0 und 10 sprungartig steigen. Vor allem deuten die Polar-Stern-Registrierungen in Potsdam und auch mehrere Schätzungsreihen darauf, insbesonders da sie jedenfalls sehr oft keine bestimmte Krümmung in dem mittleren Teil der Kurven aufweisen.

2) Noch allgemeiner findet man Andeutungen dazu, dass die Häufigkeitskurve in diesem mittleren Teile jedenfalls ziemlich symmetrisch verläuft, was u. a. darin zum Ausdruck kommt, dass die aus den Stufen 1—9 gebildete mittlere

Bewölkung (b_1) annähernd 50 % ist. Die Gleichung 4) $b = t + g \frac{b_1}{100}$ (wo t und g die prozentische Häufigkeit der Stufen 10 bezw. 1—9, b die mittlere Bewölkung angeben), würde also die sehr einfache Form: $b = t + \frac{1}{2} g$ annehmen.

3) Häufigkeitskurven, die stark gekrümmt sind oder sehr unsymmetrisch verlaufen, d. h. wenn b_1 viel von 50 verschieden wird, scheinen weniger vertrauenswürdig zu sein. Besonders ist die Häufigkeit der äussersten Zwischenstufen 1 und 9 grossen und charakteristischen Schwankungen unterworfen z. B. in Gråhara und Pawlowsk (alte) häufige 1, in Potsdam, Stockholm, Wien u. s.w. sehr häufige 9. (grosse b_1)

4) Durch häufige 1, 9 oder andere Zwischenstufen wird die Zwischengruppe g in mehreren Beobachtungsreihen (z. B. Gråhara, Potsdam und den meisten alten Reihen) stark vergrössert (t und b oft dabei zu klein).

5) Im Laufe der Zeit haben öfters g abgenommen, t und b zugenommen, die Kurven sind symmetrischer, b_1 etwa 50 geworden. Die Ursache hierzu ist sicher in mehreren Fällen darin zu suchen, dass man später nicht mehr, wie früher allgemein war, Rücksicht auf die Dichte der Wolken genommen hat.

6) Grosse g (u. a. g_1 und g_9) können auch durch eine übertriebene Genauigkeit verursacht werden oder durch eine Abneigung für die als roh angesehene Stufen 0 und 10, oft auch 5, zu kleine g wiederum durch zu ungenaue Schätzungen, durch einen sehr unfreien Gesichtskreis u. s. w. (z. B. einige Schätzungen in Helsingfors, Petersburger Forstinstitut u. s.w.)

7) Auch für andere Zwischenstufen (wie oft z. B. 3 u. 7) weisen die meisten Beobachter eine subjektive Vorliebe, bedingt durch eine 3-Teilung des Himmels u. s. w. auf.

8) Überhaupt zeigt es sich, dass alle Folgerungen aus Bewölkungszahlen nur mit grösster Vorsicht gezogen werden müssen, dass z. B. klimatischen Veränderungen im Laufe der Zeit, der täglich periodische Gang u. s. w. nicht sicher festzustellen sind, wenn die Beobachter gewechselt haben.

Öfversigt af Finska Vetenskaps-Societetens Förhandlingar.
Bd. LXI. 1918—1919. Afd. A. N:o 6.

Das Kriterium Lagrange's für die reellen quadratischen Irrationalzahlen.

Von

NILS PIPPING.

§ 1.

Es sei ω eine *reelle, positive* Grösse[1]). Von den Werten $d_{-2}=\omega$, $d_{-1}=1$ ausgehend bilden wir den Euklidischen Algorithmus

(1) $$d_{\nu-2}=l_\nu d_{\nu-1}+d_\nu, \quad (\nu=0, 1, 2, \ldots);$$

wo die l_ν ganze Zahlen sind, welche den Bedingungen

(2) $$l_0 \geqq 0, \quad l_\nu \geqq 1, \quad (\nu \geqq 1)$$

genügen; ferner haben wir hierbei

(3) $$d_\nu \geqq 0, \quad (\nu \geqq -2); \quad d_\nu < d_{\nu-1}, \quad (\nu \geqq 0).$$

Falls es einen Index $\nu=\nu_0$ gibt, für den $d_{\nu_0}=0$ ist, *bricht* der Algorithmus *ab*, sonst lässt er sich ins *Unendliche*

---

[1]) Die Annahme $\omega>0$ bedeutet keine *wesentliche* Einschränkung. Denn falls $\omega<0$, betrachten wir statt dessen die positive Grösse $-\omega$ und können ganz dieselben Schlüsse wie im Folgenden ziehen, weil ja ω und $-\omega$ algebraische Zahlen gleichen Grades sind.

fortsetzen. Dasselbe gilt dann auch von dem zu ω gehörigen Kettenbruch

(4) $$\omega = l_0 + \cfrac{1}{l_1 + \cfrac{1}{l_2 + \ldots}},$$

den wir nunmehr betrachten.

Die sukzessiven Näherungsbrüche $P_v : Q_v$ desselben lassen sich wie bekannt vermittels der Rekursionsformeln

(5) $$\begin{cases} P_{-2}=0 \\ Q_{-2}=1 \end{cases} \begin{cases} P_{-1}=1 \\ Q_{-1}=0 \end{cases} \begin{cases} P_v=P_{v-2}+l_v P_{v-1} \\ Q_v=Q_{v-2}+l_v Q_{v-1}, \end{cases} (v=0, 1, 2, \cdots)$$

berechnen, deren Gemeingültigkeit man vermittels vollständiger Induktion beweist.

Es ist also $P_{-2}=0$, $Q_{-1}=0$ und für $l_0=0$ daneben $P_0=0$, sonst aber sind P_v, Q_v nach (5) und (2) positive ganze Zahlen, welche von einem gewissen Index an beständig wachsen:

(6) $$\begin{cases} P_v \geqq 0, & (v \geqq -2) \\ Q_v \geqq 0, & (v \geqq -2) \end{cases} \begin{cases} P_v \geqq 1, & (v \geqq 1) \\ Q_v \geqq 1, & (v \geqq 0) \end{cases} \begin{cases} P_v > P_{v-1}, & (v \geqq 3) \\ Q_v > Q_{v-1}, & (v \geqq 2) \end{cases}$$
$$\lim_{v=\infty} P_v = \lim_{v=\infty} Q_v = \infty .$$

Hierbei besteht wegen (5) die wichtige Gleichung

(7) $$\begin{vmatrix} P_{v-1} & P_v \\ Q_{v-1} & Q_v \end{vmatrix} = (-1)^v$$

und ferner die Beziehung

(8) $$\sigma_{v-1} \leqq \sigma_v ,$$

wo σ_v *die grössere von den Zahlen* Q_v *und* P_v *bezeichnet.*

Mit Rücksicht auf (5) haben wir identisch $\omega = (-1)(P_{-2} - \omega Q_{-2})$. Anderseits führten wir aber in dem Algorithmus (1) für ω die Bezeichnung d_{-2} ein, und es ist folg-

lich $d_{-2}=(-1)(P_{-2}-\omega Q_{-2})$. Ganz in derselben Weise wird gezeigt, dass $d_{-1}=(P_{-1}-\omega Q_{-1})$ ist, woraus vermittels vollständiger Induktion die allgemeine Gleichung

$$(9) \qquad d_\nu=(-1)^{\nu+1}(P_\nu-\omega Q_\nu)$$

hervorgeht. Denn falls $d_{\nu-2}=(-1)^{\nu+1}(P_{\nu-2}-\omega Q_{\nu-2})$ und $d_{\nu-1}=(-1)^{\nu}(P_{\nu-1}-\omega Q_{\nu-1})$ ist, erhalten wir nach (1) und (5)

$$\begin{aligned} d_\nu=d_{\nu-2}-l_\nu d_{\nu-1}&=(-1)^{\nu+1}\big(P_{\nu-2}+l_\nu P_{\nu-1}-\omega(Q_{\nu-2}+l_\nu Q_{\nu-1})\big)\\ &=(-1)^{\nu+1}(P_\nu-\omega Q_\nu). \end{aligned}$$

Aus (9) und (7) folgt ferner

$$(10) \qquad \begin{cases} d_{\nu-1}Q_\nu+d_\nu Q_{\nu-1}=1\\ d_{\nu-1}P_\nu+d_\nu P_{\nu-1}=\omega, \end{cases}$$

und weil keine Grösse in diesen Gleichungen negativ ist (vgl. (3) und (6)), erhalten wir mithin $d_{\nu-1}Q_\nu\leqq 1$, $d_{\nu-1}P_\nu\leqq\omega$ und daher

$$(11) \qquad d_{\nu-1}\sigma_\nu\leqq c,$$

wo die Konstante c *die grössere von den Zahlen* 1 *und* ω *angibt.*

Hieraus geht schliesslich nach (6) die Beziehung

$$(12) \qquad \lim_{\nu=\infty} d_\nu=0$$

hervor.

§ 2.

Falls ω speziell eine *rationale* Zahl $p:q$ ist, haben wir nach (9) $d_\nu=p_\nu:q$, wo p_ν eine nicht negative ganze Zahl angibt. Mit Rücksicht auf (12) können wir aber einen Index ν_0 so gross wählen, dass $d_{\nu_0}<1:q$ ist; daher muss $p_{\nu_0}=0$ und mithin auch $d_{\nu_0}=0$ sein, woraus folgt, dass der Kettenbruch (4) *abbricht.* Und umgekehrt: falls der Ketten-

bruch (4) *abbricht*, indem wir (für einen gewissen Index ν_0) $d_{\nu_0} = 0$ erhalten, haben wir nach (9) $\omega = P_{\nu_0} : Q_{\nu_0}$, und ω ist folglich eine *rationale* Zahl.

Abbrechende Kettenbrüche charakterisieren mithin die rationalen Zahlen.

§ 3.

Aus dem Algorithmus (1) geht hervor, *dass ein unendlicher Kettenbruch* (4) *periodisch ausfällt stets und nur, wenn es zwei Indices i und k ($i > k$) derart gibt, dass*

$$\frac{d_{i-1}}{d_i} = \frac{d_{k-1}}{d_k}. \tag{13}$$

Falls diese Bedingung erfüllt ist, setzen wir

$$\frac{d_i}{d_k} = \frac{d_{i-1}}{d_{k-1}} = \Theta \tag{14}$$

und haben dann (vgl. (3))

$$0 < \Theta < 1. \tag{15}$$

Nach (10) und (14) bekommen wir für $\nu = k$

$$\Theta = d_{i-1}\, Q_k + d_i\, Q_{k-1},\ \Theta\omega = d_{i-1}\, P_k + d_i\, P_{k-1}$$

und mithin wegen (9)

$$\Theta = A_1 + B_1\omega,\ \ \Theta\omega = A_2 + B_2\omega, \tag{16}$$

wo A_1, B_1, A_2, B_2 ganze Zahlen sind. Nach Elimination von Θ wird dann erhalten:

$$B_1\omega^2 + (A_1 - B_2)\,\omega - A_2 = 0. \tag{17}$$

Diese Gleichung ist keine Identität (wäre $B_1 = 0$, hätten wir nähmlich nach (16) $\Theta = A_1$, was mit (15) in Widerspruch steht), und sie ist auch nicht reduzibel (vgl. § 2). Wir haben somit bewiesen, *dass jeder periodische Kettenbruch zu einer quadratischen Irrationalzahl gehört.*

Umgekehrt nehmen wir jetzt an, dass ω eine *quadratische* Irrationalzahl ist und mithin einer irreduziblen Gleichung

$$(18) \qquad g_0\omega^2 + g_1\omega + g_2 = 0$$

mit ganzzahligen Koeffizienten genügt. Hierbei können wir immer

$$(19) \qquad g_0 > 0$$

wählen.

Es sei ω' die andere Wurzel der Gleichung (18). In Analogie mit (9) setzen wir

$$(9)' \qquad d'_v = (-1)^{v+1} (P_v - \omega' Q_v)$$

und haben dann für jeden Index v

$$(20) \qquad |d'_v| > 0, \; d_v > 0,$$

weil ja ω und ω' unserer Annahme gemäss algebraische Zahlen zweiten Grades sind. Der zu ω gehörige Kettenbruch (4) ist m. a. W. *unendlich.*

Wir wollen aber noch zeigen, dass er *periodisch* ausfällt, und zu dem Ende betrachten wir die Gleichung

$$(21) \qquad g_0{}^2 d_v d'_v \left(x - \frac{d_{v-1}}{d_v}\right)\left(x - \frac{d'_{v-1}}{d'_v}\right) = 0.$$

Die Koeffizienten derselben

$$(22) \quad A_v = g_0{}^2 d_v d'_v, \; B_v = -g_0{}^2(d_{v-1}d'_v + d_v d'_{v-1}), \; C_v = g_0{}^2 d_{v-1} d'_{v-1}$$

sind als symmetrische Funktionen der Wurzeln ω, ω' der Gleichung (18) rationale Zahlen, ja sogar *rationale ganze Zahlen*, weil $g_0\omega$, $g_0\omega'$ und mithin auch $g_0 d_v$, $g_0 d'_v$, $g_0\, d_{v-1}$, $g_0\, d'_{v-1}$ ganze algebraische Zahlen sind.

Nach (11) und der letzteren Beziehung (3) haben wir

$$d_v < d_{v-1} \leqq \frac{c}{\sigma_v}, \tag{23}$$

und wenn wir

$$M = 1 + |\,\omega'\,| \tag{24}$$

setzen, ist ferner mit Rücksicht auf (8)

$$|\,d'_v\,|,\ |\,d'_{v-1}\,| \leqq M\sigma_v. \tag{25}$$

Wir erhalten mithin nach (22), (23) und (25)

$$|\,A_v\,| \leqq g_0^{\,2}\, cM,\quad |\,B_v\,| \leqq 2\, g_0^{\,2}\, cM,\quad |\,C_v\,| \leqq g_0^{\,2}\, cM, \tag{26}$$

aus welchen Beziehungen hervorgeht, dass die rationalen ganzen Zahlen A_v, B_v, C_v absolut unter einer von v unabhängigen Schranke bleiben.

Die Anzahl der *verschiedenen* Gleichungen (21) ist somit *endlich*, und dasselbe gilt dann auch von den Wurzeln $d_{v-1} : d_v$ derselben. Es gibt also zwei Indices i und k, für welche die Gleichung (13) besteht, und der Kettenbruch (4) ist daher *periodisch*.

Nunmehr haben wir also vollständig bewiesen, *dass periodische Kettenbrüche die reellen quadratischen Irrationalzahlen charakterisieren.*

Dieser Satz wurde wie bekannt schon von Lagrange[1]) angegeben, und ist später von mehreren Forschern bewiesen,

---

[1]) *Abhandlungen der Akademie zu Berlin*, Bd. XXIV, 1770; Werke, Bd. II, S. 603 ff.

am Einfachsten vielleicht von Charve[1]). Der obige Beweis ist mit dem Charve'schen nahe verwandt, scheint uns indessen noch einfacher zu sein, teils betreffs der Bezeichnungen, vor allem aber betreffs der Herleitung der oberen Grenze für die Beträge $|A_\nu|$, $|B_\nu|$, $|C_\nu|$.

§ 4.

Die Verallgemeinerung des Lagrange'schen Satzes zu einem Kriterium für die reellen algebraischen Zahlen n:ten Grades wird erhalten, wenn man gewisse Minkowski-Reihen betrachtet, von denen die gewöhnliche Kettenbruchentwicklung ein Spezialfall ist[2]). Ohne auf diese Frage einzugehen wollen wir jedoch hervorheben, dass man hierbei die Untersuchungen im nächsten Anschluss an die obigen durchführen kann. Eine Ausnahme in dieser Beziehung bildet nur der Konvergenzsatz für die Minkowski-Reihen[3]), der sich durch direkte Verallgemeinerung des Beweises für den Konvergenzsatz (11) nicht gewinnen lässt.

Wir wollen daher die Richtigkeit der Beziehung (11) noch in ganz anderer Weise darlegen, indem wir als wesentliches Beweismoment den Fundamentalsatz Minkowskis (S. 9) zu Hilfe nehmen. In entsprechender Weise — jedoch mit gewissen Modifikationen — lässt sich der genannte allgemeine Konvergenzsatz beweisen. —

In einem rechtwinkligen Parallelkoordinaten-System x, y betrachten wir sämtliche *Gitterpunkte*, d.h. sämtliche Punkte, deren Koordinaten alle beide ganzzahlig sind; von besonde-

[1]) *Bulletin des sciences mathématiques* (2), 1, première partie, 1877. Siehe auch O. Perron, *Die Lehre von den Kettenbrüchen*, Teubner, 1913, S. 77—79.

[2]) Siehe Hermann Minkowski, *Ein Kriterium für die algebraischen Zahlen* (Nachr. der K. Ges. der Wissenschaften zu Göttingen, Math.—phys. Klasse, 1899, S. 64—88; Ges. Abh. I, S. 293—315) und daneben die akademische Abhandlung des Verfassers, *Zur Theorie der arithmetischen Kriterien für die reellen algebraischen Zahlen*, Helsingfors, 1917.

[3]) Vgl. die Beziehung (49) bei Minkowski (loc. cit.) und die Beziehung (19), S. 50, in der genannten Abhandlung des Verfassers.

rem Interesse für den folgenden Beweis sind die Gitterpunkte $\pm(v)$ mit den Koordinaten $x = \pm Q_v$, $y = \pm P_v$.

Durch die Gitterpunkte $\pm(v-1)$ ziehen wir die Geraden L und L' parallel der Geraden $y = \omega x$ (siehe Fig. 1); sie schneiden aus dem Quadrat [1])

$$|x| \leqq \sigma_v, \ |y| \leqq \sigma_v$$

eine Figur heraus, die wir mit π_v bezeichnen.

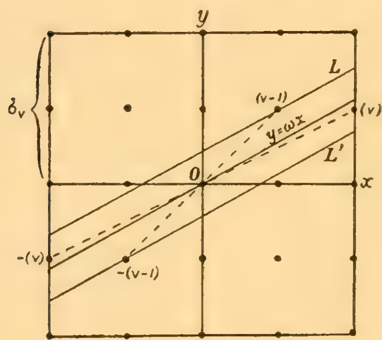


Fig. 1.

Im *Inneren* dieser Figur liegt der *Nullpunkt*. Aus (8) geht ferner hervor, *dass die Gitterpunkte* $\pm(v-1)$ dem Quadrat $|x|, |y| \leqq \sigma_v$ gehören und mithin *auf die Begrenzung der Figur* π_v *fallen, und dasselbe gilt auch von dem Punktpaar* $\pm(v)$, weil ja diese Gitterpunkte nach (9) und (3) in dem Streifen zwischen den Geraden L und L' liegen.

Unter den Voraussetzungen $v \geqq 2$ *und* $d_v \neq 0$ *können wir aber zeigen, dass die genannten fünf Gitterpunkte die einzigen sind, welche der Figur* π_v *gehören.*

Mit Rücksicht auf (7) lassen sich die Koordinaten eines jeden Gitterpunktes (x, y) in der Form

$$x = \varrho Q_v + \tau Q_{v-1}, \ y = \varrho P_v + \tau P_{v-1}$$

schreiben, wo ϱ und τ ganze Zahlen sind; um den Beweis zu führen haben wir mithin die folgenden Spezialfälle zu unterscheiden:

1) $\varrho = 0$, $\tau = 0$ gibt den Nullpunkt im Inneren der Figur π_v.

2) $\varrho = 0$, $\tau \neq 0$. Für $\tau = \pm 1$ erhalten wir die Gitterpunkte $\pm(v-1)$ auf der Begrenzung der Figur π_v, für $|\tau| > 1$ daher Gitterpunkte ausserhalb derselben.

---

[1]) Wie in § 1 bedeutet σ_v die grössere von den Zahlen P_v und Q_v.

3) $\tau = 0$, $\varrho \neq 0$. Für $\varrho = \pm 1$ erhalten wir die Gitterpunkte $\pm(\nu)$ auf der Begrenzung der Figur π_ν, für $|\varrho| \geq 1$ daher Gitterpunkte ausserhalb derselben.

4) $\varrho \neq 0$, $\tau \neq 0$.

a) $\varrho\, \tau > 0$. Nach (6) und unserer Annahme $\nu \geq 2$ sind die Koordinaten $Q_{\nu-1}$, $P_{\nu-1}$, Q_ν, P_ν positive ganze Zahlen. Die betrachteten Gitterpunkte fallen also sämtlich ausserhalb des Quadrates $|x|, |y| \leq \sigma_\nu$ und daher auch ausserhalb der Figur π_ν.

b) $\varrho\, \tau < 0$. Die Gitterpunkte (ν) und $(\nu - 1)$ liegen nach (9), (3) und unserer Annahme $d_\nu \neq 0$ auf verschiedenen Seiten von der Geraden $y = \omega x$. Die betrachteten Gitterpunkte fallen mithin sämtlich ausserhalb des Streifens zwischen den Geraden L und L' und daher auch ausserhalb der Figur π_ν. —

Nach dem Fundamentalsatz [1]) Minkowskis *ist jede konvexe Figur mit einem Gitterpunkt als Mittelpunkt, die sonst aber im Inneren keinen Gitterpunkt aufweist, ihrem Flächeninhalt nach* $\leq 2^2$.

Dem Obigen zufolge lässt sich dieser Satz auf die Figur π_ν anwenden, und wir erhalten mithin [2])

$$2\sigma_\nu 2d_{\nu-1} \leq 2^2 \text{ für } \omega < 1 \text{ und } 2\sigma_\nu \frac{2d_{\nu-1}}{\omega} \leq 2^2 \text{ für } \omega > 1.$$

Jedenfalls haben wir also

$$d_{\nu-1}\,\sigma_\nu \leq c\,,$$

wo c die grössere von den Zahlen 1 und ω angibt, und die Beziehung (11) ist somit auf geometrischem Wege bewiesen. —

---

[1]) Vgl. Hermann Minkowski, *Geometrie der Zahlen*, S. 76, *Diophantische Approximationen*, S. 29 und die früher (S. 7) angeführte Abhandlung des Verfassers, S. 25.

[2]) Es sei bemerkt, dass die Figur π_ν tatsächlich ein Parallelogramm ist. Denn nach unserer Annahme $\nu \geq 2$ ist $\sigma_\nu > 1$, und wenn der Punkt (σ_ν, σ_ν) auf die Begrenzung der Figur π_ν fiele, wäre also der Punkt (1, 1) ein innerer; die Figur π_ν enthält aber im Inneren den Nullpunkt als einzigen Gitterpunkt.

Der Vollständigkeit wegen sei noch folgende Ergänzung zugefügt.

Bis jetzt haben wir vorausgesetzt, dass $v \geqq 2$ und $d_v \neq 0$ ist. Falls diese Bedingungen *nicht* erfüllt sind, können ausser den Gitterpunkten $\pm(v)$, $\pm(v-1)$ noch andere auf die Begrenzung der Figur π_v fallen; im *Inneren* enthält aber diese Figur jedenfalls den Nullpunkt als einzigen Gitterpunkt.

Für $\sigma_v > 1$ ist die Figur π_v, wie wir sahen, ein Parallelogramm, und die Beziehung (11) wird mithin ganz wie Oben erhalten.

Für $\sigma_v = 1$ ist die Beziehung (11) evident.

Helsingfors, den 18 Oktober 1918.

ÜBER DIE PYROGENE ZERLEGUNG DER RUSSISCHEN ERDÖLRESIDUEN (MASUT)

NEUE RICHTLINIEN ZUR RATIONELLEREN VERWERTUNG DER ERDÖLE

VON

OSSIAN ASCHAN



HELSINGFORS 1919
HELSINGFORS CENTRALTRYCKERI

VORWORT.

Die vom Verf. seit 1910 ausgeführten Untersuchungen[1] *über die künstliche Darstellung von Kautschuk hatten bereits vor vielen Jahren bei ihm die Überzeugung hervorgerufen, dass die zu dem Zweck studierten Butadiene, und zwar wegen der konjugierten Doppelbindungen in denselben, den gegen starke Temperaturerhöhung resistentesten Kohlenwasserstoffen angehören. In dieser Hinsicht sind sie den Benzolkohlenwasserstoffen gleichzustellen. Diese Erfahrung hatte den Verf. zu der Ansicht geführt, dass Butadien, Isopren usw. konstant oder wenistens sehr häufig auftretende Bruchstücke der pyrogenen Zersetzung komplizierterer organischer Stoffe der alicyklischen sowie alifatischen Reihe, welche in Kohlenwasserstoffe zerfallen, darstellen.*

Meine in den darauf folgenden Jahren betriebenen Studien zur Auffindung eines für die Kautschukdarstellung im Grossen genügend reichlichen und billigen Rohmaterials gingen zunächst

---

[1]) Die ersten greifbaren Resultate derselben wurden in einer schwedischen Patentanmeldung vom 10 September 1910 niedergelegt, welche den 22 März 1916 zum Patent 40471 in Schweden führte. Der Patentanspruch lautet in Übersetzung: »Verfahren zur Darstellung kautschukähnlicher Substanzen, dadurch gekennzeichnet, dass technisches Isopren, das einen höheren Grad von Reinheit nicht besitzt, und welches mit Sauerstoff bezw. Ozon nicht behandelt worden ist, sowie die Homologen und Analogen des Isoprens, einzeln oder mit Isopren gemischt, mit geeigneten polymerisierenden Substanzen behandelt werden, wobei man, um diese Einwirkung zu beschleunigen, die Temperatur in geeigneter Weise, jedoch nicht höher als 190°, erhöht». Diesem Patent kommt Mitberechtigung zu in Schweden neben dem bekannten Weltpatent der Farbenfabriken vorm. Friedr. Bayer & C:o (in Schweden den 23 Juli 1910 angemeldet und unter N:r 37369 erteilt).

in der Richtung, das in den niedriger siedenden Petroleumbenzinen in grosser Menge Menge zugängliche Isopentan für den Zweck zu untersuchen und durch geeignete Umwandlungen in Isopren zu überführen. Meine in dieser Hinsicht gesammelten, hauptsächlichen Erfahrungen wurden 1915 zusammenfassend in dieser Zeitschrift in die beiden ausführlichen Abhandlungen: »Über Derivate der Petroleumpentane sowie einiger ihrer Homologen«[1] *und »Neue hochmolekulare Kohlenwasserstoffe aus Isopren«*[2] *niedergelegt.*

Indes hatte es sich ergeben, dass die Kohlenwasserstoffe aus Petroleumbenzin nicht in der einfachen Weise in Butadiene umwandelbar sind, dass sie trotz ihrer leichten Zugänglichkeit ein geeignetes Material für eine als Grossindustrie betriebene Kautschukfabrikation darstellen konnten. Ich kehrte daher zu meinem ersten Idée zurück, Butadien bezw. Isopren auf pyrogenem Wege zu gewinnen. Als geeignetes Rohmaterial dafür boten sich das rohe Erdöl bezw. seine bei der Destillation abfallenden Residuen an, sowohl wegen ihrer Zusammensetzung wie auch wegen der unermesslichen Mengen, worin sie vorhanden sind. Im Jahre 1916 konnte ich dann, wie im Kap. 4 der vorliegenden Abhandlung erläutert wird, das Vorkommen nicht unbeträchtlicher Mengen von Isopren in den Destillationsprodukten der als Masut bezeichneten Residuen des Erdöls aus Baku nachweisen. Hierauf folgten Untersuchungen von ähnlich erhaltenen Destillaten anderer Provenienz, die ebenfalls aus Masut erhalten worden waren. Von letzteren standen mir ganz erhebliche Mengen zur Verfügung, so dass es mir gelang, nicht nur das Isopren wieder nachzuweisen und in Kautschuk überzuführen, sondern auch die Menge desselben sowie der anderen technisch wichtigen Kohlenwasserstoffe, nämlich Benzol und Toluol, die das Isopren in diesen Destillaten begleiten, festzustellen. Es liess sich ferner ermitteln, dass diejenige Art der destruktiven Zerlegung durch die Hitze, welche für die Ölgasbereitung im Grossen angewandt wird, sich für die Gewin-

---

[1] Bd. LVIII. Afd. A. N:o 1. Seite 1—122.

[2] Bd. LVIII. Afd. A. N:o 2. Seite 1—42.

nung des Isoprens am besten eignet. Diese Feststellungen bilden die erste Hälfte der vorliegenden Abhandlung.

Nach der erwähnten Entdeckung des Isoprens unter den Produkten der trocknen Destillation des Masuts, und da man daraus direkt schliessen konnte, dass nicht nur die russische Rohnafta sondern sehr wahrscheinlich auch andere Erdölarten, und besonders das rumänische und galizische Erdöl, als Rohmaterialien für die Isoprendarstellung im Grossen in Frage kommen könnten, so war damit auch die ursprüngliche Frage, woher das in immenser Menge nötige Rohmaterial zu holen war, welche einer dem jetzigen Weltbedarf an Kautschuk entsprechenden künstlichen Darstellung des Materials entspricht, beantwortet. Und nachdem eine darauf gerichtete ekonomische Berechnung gezeigt hatte, dass der Wert des Rohmaterials, also des Masuts und folglich auch der rohen Nafta, wenn es in der ermittelten Weise destilliert und somit veredelt wird, eine mehrfache Steigerung erfährt, so ist nicht zu bezweifeln, dass auch die wirtschaftliche Seite der Erfindung sichergestellt war. Dies wird in der zweiten Hälfte dieser Abhandlung erläutert. Schon in der nächsten Zukunft muss auch die Erdölindustrie bedacht sein, die in ihrem Rohmaterial vorhandenen Bestandteile in mehr schonenden Weise als bisher, also auch in Form der wertvollen Produkte: Gas und organische Kohlenwasserstoffe, wie eben Isopren, Benzol und Toluol, herauszubringen. Wie bezüglich der Steinkohle, muss nämlich die Vernichtung der wertvollen organischen Substanz durch Anwendung des Erdöls, wie eines jeden anderen mineralischen Brennstoffs, zur direkten Heizung vermieden und als eine Raub-Ausnutzung bezeichnet werden. Es lässt sich voraussehen, dass die Kraftcentrale in den an Brennstoff reichen Ländern — und zu den Brennstoffen hat man bisher das Erdöl fast ausschliesslich gerechnet — aus chemischen Fabriken bestehen werden, bei denen Energie als Nebenprodukt erzeugt wird.

Schliesslich noch einige chronologische Daten, die sich auf die vorliegende Abhandlung beziehen.

Die Versuche waren schon vor etwa anderthalb Jahren — in November 1917 — ausgeführt. Die Redaktion der Abhandlung fand im Frühjahr 1918 statt und wurde anfang Mai beendigt.

Das Manuskript wurde den 14 desselben Monats dem stetigen Schriftführer der Finska Vetenskapssocieteten im geschlossenen Konvolut zum Aufbewahren übergeben. Ich sah nämlich von einer sofortigen Publikation ab aus dem Grunde, dass ich wegen der zu dieser Zeit in Finland herschenden allgemeinen Lebensmittelnot die Hoffnung hegte, durch Überlassen der Entdeckung des Isoprens, des Rohmaterials für Kautschuk, in den Destillaten von Masut an die deutschen Reichsbevollmächtigten als Kompensierungsgegenstand für an uns geliefertes Getreide, diese Notlage einigermassen erleichtern zu können. Die Übergabe fand auch anfang Juni seitens mir persönlich offiziell in Gegenwart des finnischen Ministers statt. Indes stellte es sich später heraus, dass der Mangel an Lebensmitteln der erwünschten Art auch im Deutschland immer mehr hervorgetreten war. Auch wegen der träge verlaufenden Beschaffung geeigneter Ausgangsprodukte wurden die in Gang zu setzenden Versuche verzögert, bis die am Ende des Sommers eingetretene Veränderung in den militären Verhältnissen und der politischen Situation im Centraleuropa Schwierigkeiten bereiteten und »eine grosszügige Ausnutzung der Versuchsresultate selbst in günstigsten Falle nicht möglich war», wie mir den 14 Dec. 1918 brieflich aus Berlin von amtlich interessierter Seite mitgeteilt wurde.

Unter diesen Umständen habe ich nicht weiter gezögert, die Abhandlung am 20 Januar 1919 der Societät zur Publikation vorzulegen.

Der Verfasser.

Inhaltsverzeichnis.

Öfversigt af Finska Vetenskaps-Societetens Förhandlingar.
Bd. LXI. 1918—1919. Afd. A. N:o 7.

Über die pyrogene Zerlegung der russischen Erdöl-Residuen (Masut).

Neue Richtlinien zur rationelleren Verwertung der Erdöle.

Von

OSSIAN ASCHAN.

1. Einleitung und Allgemeines.

Die heutige Erdölindustrie bewältigt offenbar das stofflich grösste Gebiet der chemischen Grossindustrie. Dennoch ist sie, wie Leopold Singer in der Einleitung zum Bd. III. des grossen von C. Engler und H. v. Höfer herausgegebenen Werkes: **Das Erdöl** hervorhebt, einzelnen Hauptzweigen dieser Grossindustrie höchstens an Umfang, nicht aber an Inhalt ebenbürtig. Die Erdölindustrie sucht noch heute vorherrschend in der Hilfe des Konstrukteurs durch Verbesserung maschineller Einrichtungen und nicht in der Veredelung der Produkte unter Betätigung des Chemikers ihren Erfolg. Dies liegt wohl hauptsächlich darin, dass man fortwährend den Standpunkt einnimmt, dass die Chemie des Erdöls, wegen der sehr schwierigen Umwandelbarkeit der Stoffe derselben, der des Steinkohlenteers gänzlich nachsteht.

Die Fortschritte in industrieller Hinsicht verdankt die Erdöltechnik noch den beiden aller einfachsten Operationen: der Destillation, insbesondere der Wasserdampfdestillation, und der Bearbeitung mit Schwefelsäure und Lauge.

Dadurch gelingt zunächst die Scheidung der leichter siedenden Anteile (B e n z i n e) von dem eigentlichen Leuchtöl (P e t r o l e u m, K e r o s i n), sowie die Reinigung dieser Produkte sehr leicht. Der darüber siedende Rest der russischen Nafta wird M a s u t genannt. Dieser wird teils, aber nur in den technisch höher entwickelten Grossbetrieben, durch die gleichen Operationen auf z. T. recht wertvolle Destillate (wie G a s ö l und verschiedene S c h m i e r ö l e) verarbeitet, *teils aber (und bis auf 90 %) zur Heizung benutzt. Etwa die Hälfte des undestillierten russischen Erdöls soll ausserdem nach zuverlässlicher Schätzung für denselben Zweck verbrannt werden.* Wie das Masut stellt nämlich dieses, wegen der flüssigen Formart sowie des verhältnismässig niedrigen Preises, ein wertvolles Heizmittel dar.

Die Residuen anderer Erdöle, und besonders des paraffinreichen amerikanischen, werden bekanntlich in anderer Weise verarbeitet, worauf wir in einem späteren Kapitel einiges mitteilen werden.

Obwohl das Rohöl und Masut sich durch ihren erheblichen Energieinhalt auszeichnen, — in 1 kilogram derselben sind bis auf 10,000—11,000 Kal gegen etwa 7,200 Kal in der gleichen Menge guter Steinhohle enthalten — so ist ihre Anwendung als Brennstoffe jedoch als sehr unekonomisch zu bezeichnen. Dies wird schon daraus völlig evident, dass aus ihnen bereits durch die beiden genannten einfachen Operationen, die Destillation mit darauf folgender Schwefelsäure- bezw. Laugebehandlung, zum überwiegenden Teil ihres Gesamtgewichtes technisch wertvolle Produkte dargestellt werden können. Bei der Verbrennung kommt dagegen nur der Heizwert zu Gute, **während die organische Substanz vernichtet wird.**

Es lässt sich nun auf Grund der nachfolgenden chemischen und technisch-wirtschaftlichen Untersuchung darlegen, dass man die Rohmaterialien auch auf pyrogenen Wege noch weit vorteilhafter verwerten kann, als wenn man sie durch weitere Destillation in höher siedende Produkte zerlegt.

Wir haben oben das rohe Erdöl mit dem Masut gleichgestellt, und zwar auf Grund der fast gleich grossen Energie-

menge, die sie enthalten. Dass sie aber, ausser als Brennstoffe, auch sonst mit einander vergleichbar sind, zeigt folgende Zusammenstellung. Daraus geht hervor, welche wichtigeren Produkte man aus dem Rohöl gewinnen kann, und zwar nach Erfahrungen, die in einer der russischen Naftaindustrie angehörigen Weltfirma erzielt worden sind. Dabei setze ich voraus, dass es allgemein bekannt sei, wie erheblich die Zusammenzetzung des Erdöls aus verschiedenen Fundorten wechselt. Die folgenden Angaben beziehen sich nur auf die Nafta von *Balachany*. Diese liefert bei der Destillation die unten verzeichneten Mengen der drei Hauptanteile, die event. weiter zerlegt werden:

	Prozente:	Dichte bei 15° C:	Siedepunkt:
I. Benzine	etwa 4 %	etwa 0.770	bis 150°
II. Petroleum	» 33 »	» 0.825	150—300°
III. Masut	» 62 »	» 0.912	über 300°
Verlust	» 1 »		
	100 %		

Das Masut zerfällt bei der Destillation mit überhitztem Dampf weiterhin in

	Prozente:	Dichte bei 15° C:	Prozente des ursprünglichen Erdöls:
Solaröl	etwa 30,0 %	0,870—0,875	18,60 %
Spindelöl, leichtes und schweres	» 7,5 »	0,875—0,905	4,65 »
Maschinenöl	» 24,0 »	0,905—0,912	14,88 »
Leichtes Zylinderöl	» 1,5 »	0,912—0,920	0,93 »
Goudron	» 35,0 »	0,920—0,950	21,70 »
Verlust	» 2,0 »		2,24 »
	100,00 %		100,00 %

(aus 62 % Masut vom sp. Gew. 0,912 bei 15° C.)

Bemerkung: Das Goudron ist trägflüssig und wird als schlichtes Schmieröl sowie als Zusatz beim Asphaltieren z. B. von Mauern (vertikal gelegenes Mauerwerk) gebraucht.

Sämtliche oben angegebenen Destillationsprodukte werden mit konz. Schwefelsäure und Natronlange in gewöhnlicher Weise gerei-

nigt. Bei der Reinigung des »leichten Cylinderöls» müssen jedoch entweder Naphtensäure oder »Olein» vor der Natronreinigung zugefügt werden, weil sonst die gebildeten Seifen nicht von dem Öl ausgeschieden werden; ohne die genannten Zusätze würde man nur unbedeutende Mengen öliger Produkte erhalten.

Das Goudron kann mit konz. Schwefelsäure gereinigt werden. Diese wird dann absepariert, und die schweflige Säure durch Einblasen von Luft entfernt. Nachher wird unter Zusatz einer unbedeutenden Menge konz. Natronlange neutralisiert. Schliesslich destilliert man mit überhitztem Dampf. Dabei werden die »höheren Cylinderöle», die sogen. *Viscosine* erhalten, von denen folgende in den Handel vorhanden gewesen sind:

Viscosin	3;	spez.	Gewicht	0,915,	Verflüssigung	bei 240°
»	5;	»	»	0,920	»	» 255°
»	7;	»	»	0,925	»	» 300°
»	10;	»	»	0,930	»	» 330°

Unter den Benzinen unterscheidet man

A. Benzin N:o 1; spez. Gew. 0,70—0,72 (entspricht am nächsten dem gewöhnlichen *Petroläther*):

Bis 50° destillieren	0,9%
Bei 50— 60°	2,4 »
60— 70°	19,4 »
70— 80°	27,5 »
80— 90°	29,0 »
90—100°	16,0 »
über 100°	3,9 »
Verlust	0,9 »
	100,0%

B. Benzin N:o 2; spez. Gewicht 0,738—0,748 (entspricht dem gewöhnlichen *Ligroin*):

Bei 38— 80° destillieren	14,0%
80— 90°	31,8 »
90—100°	32,9 »
100—110°	6,8 »
110—120°	8,3 »
über 120°	5,5 »
Verlust	0,7 »
	100,0%

C. Benzin spezial: spez. Gewicht 0,740—0,750 (wird hauptsächlich in der Gummifabrikation verwendet):

Bei 60—70°	destillieren	1,3%
70—80°		14,4 »
80—90°		52,7 »
90—100°		27,1 »
über 100°		4,3 »
Verlust		0,2 »
		100,0%

Bemerkung. Nur auf speziellem Wunsche werden andere Benzine als diese destilliert, z. B. das sogen. Aviationsbenzin vom Siedep. 13 bis 65°.

Da die Destillation immer mit überhitztem Dampf betrieben wird, so sind die Siedepunkte der verschiedenen Destillate nicht für die Zugehörigkeit eines beliebigen Produktes zu einer gewissen Art, sondern das spez. Gewicht massgebend dafür, zu welcher Gruppe die Ware gehört. So werden z. B. aufgenommen:

Petroleum	zwischen	den	spez.	Gewichten	0,790—0,865
Solaröl, leichtes	»	»	»	»	0,865—0,880
» schweres	»	»	»	»	0,880—0,895
Spindelöl	»	»	»	»	0,895—0,902
Maschinenöl, gewöhnl.	»	»	»	»	0,902—0,920
Zylinderöl, leichtes	»	»	»	»	0,920—0,925

Dies ist der gewöhnliche Gang der Destillation. Je nach der Natur der Nafta ist die Ausbeute verschieden. Oft wird nur das Petroleum abdestilliert, und der Rest wird als Masut verkauft.

Auch die höheren Zylinderöle gehen ungereinigt, unter dem Namen Nigrole, in den Handel aus.

Das Leuchtöl-Destillat wird oft in drei verschiedenen Sorten geschieden, nämlich:

Meteor,	spez. Gewicht	0,810 (Siedep. 150—280°), Entfl. punkt 28°
Gewöhn. Petroleum	» »	0,825 (Siedep. 150—300°), Entfl. punkt 28°
Pyronafta	» »	0,860; Entfl.-Punkt 100°.

Die Letztgenannte wird, als weniger feuergefährlich, zur Beleuchtung von Schiffen, in Leuchttürmen usw. gebraucht.

Das *Solaröl* geht mehrfach als ungereinigt (mit Schwefelsäure bezw. Lauge nicht behandelt) im Handel und entspricht dem bei etwa 250—360° siedenden Gasöl der mitteleuropäischen Ölraffinereien. Ausser zur Bereitung vom Ölgas wird es zum Verdünnen gewisser trocknender Öle (Leinöl, Hanföl), zur Bereitung von Drucker-Schwärze usw. gebraucht. Nach guter Reinigung erhält man daraus das sogen. »Vaselinöl», das zu medizinischen zwecken sowie sogar im Gemisch mit Olivenöl zur Bereitung gewisser Speisen angewandt wird.

Die obigen Produkte representieren, wie wir in einem späteren Kapitel ersehen werden, in Fabrikspreisen mehr als den doppelten Wert derjenigen Quantität der Rohnafta, woraus man sie dargestellt hat, die Reinigungskosten ungerechnet, die allerdings meistens sehr billig sind. Der dazu verbrauchte Teil des Rohmaterials fällt auf die Residuen. Dieser Nachweis ist aus dem Grunde wichtig, weil das zu behandelnde Problem dadurch wesentlich vereinfacht wird, wie unten gezeigt werden soll.

Eine erheblich rationellere Verwertung der in dem Erdöl vorliegenden Naturschätze als die Verbrennung würde also schon in der Verarbeitung des Masuts auf die darin vorhandenen Produkte, Schmieröle usw., liegen. Jedoch soll dies nur zum geringeren Teil möglich sein. Von sachkündiger Seite wurde mir nämlich mitgeteilt, dass zur Deckung des Weltbedarfs an jenen technischen Produkten nur eine Verarbeitung von schätzungsweise etwa 10 % des Masuts lohnend sein dürfte, weil sonst eine vom Preisfall begleite Überproduktion die Fabrikationsmöglichkeiten in Frage stel-

len würde. Für den Rest müsste man also doch zu der Verbrennung zurückgreifen.

Es tritt uns also die Frage entgegen: Giebt es unter diesen Umständen keine, der gewöhnlichen, mittels Dampf bewirkten *konservierenden* Destillation vergleichbare billige Arbeitsweise, womittels diese enorm grossen Mengen des Masuts (bezw. des Erdöls) verarbeitet werden könnten? Von gewissen teoretischen Gesichtspunkten ausgehend, zu denen ich durch andere experimentelle Arbeiten geführt worden bin, wurde meine Aufmerksamkeit auf die *destruktive* [1]) Destillation, welche ihrerseits von *chemischen Umwandlungen* begleitet ist, gerichtet.

Die experimentelle Behandlung des Problems wird, wie schon oben angedeutet, dadurch ganz besonders erleichtert, dass man die unter Anwendung von Masut gewonnenen Resultate auch auf das Rohöl beziehen kann. Ein eventueller Fehler wird schon vermittels der Preisfrage ausgeglichen: die Rohnafta wurde im Jahre 1913, das wir zur geeigneter, vergleichender Preisberechnung fast überall berücksichtigt haben, auf 35 Kopeken, das Masut auf 35 bis 40 Kopeken pro Pud ab Fabrik bewertet. Und da gleichzeitig die bei der Destillation zuerst übergehenden Benzine (etwa 4 % vom Rohöl) zu 80 Kopeken pro Pud, das darauf folgendem, dem Masut vorangehende Leuchtöl (etwa 33 % des Rohöls) zu 40 Kopeken pro Pud verkauft worden sind, so lässt sich hieraus schliessen, dass das Masut, in Anbetracht der darin vorhandenen Schmieröle, Spindelöl, Cylinderöl usw., den wertvolleren Teil des Ganzen bildet. In technisch-wirtschaftlicher Hinsicht können also etwaige vermittels der destruktiven Destillation in der Bewertung des Masuts gewonnenen Fortschritte auch auf das rohe Erdöl bezogen werden, falls der Effekt der Methode, wie hier, in beiden Fällen so ziemlich gleich ausfällt. Dies ist in der Tat der Fall, jedoch wie es mir scheint, eher zum Gunsten des Masuts. Allerdings giebt das Rohöl, wegen seines Gehaltes an niedrig

---

[1]) Man teilt bekanntlich die Destillation des Erdöls in eine »*konservierende*», bei der das Material geschont wird, und eine »destruktive» (zersetzende); vergl. *Das Erdöl*, S. 131, 132.

siedenden Bestandteilen, die aus dem Masut schon entfernt worden, einen etwas höheren Gehalt an Gasen, in denen auch die niedrigeren Paraffine, etwa von C_4H_{10} bis C_6H_{14}, enthalten sind. Dagegen fällt die Ausbeute an Benzolen aus den leichter siedenden Bestandteilen des Petroleums, wie sich aus einer Arbeit von H a b e r[1]) über das Überhitzen von Hexan schliessen lässt, sehr niedrig aus. Ausserdem ist der aus Rohöl erzeugte Gas ärmer an höheren Äthylen- und anderen schwereren Kohlenwasserstoffen mit geringerem Kohlenstoffgehalt. Und schliesslich lässt sich voraussehen, dass wenigstens ein bedeutender Teil der Pentane des Rohöles unzersetzt überdestilliert und die Isolierung von reinem Isopren (s. u.) erschwert.

Auch auf diesem Grunde scheint mir die Anwendung des Masuts, trotz der dabei erzielten etwas kleineren Ausbeute an Ölgas, vor derjenigen von rohens Erdöl vorzuziehen sein, um so eher, als ich vermute, dass der Heizwert (worüber ausführlicher im Kap. 9) des aus Masut erhaltenen Gases grösser als des aus Rohöl dargestellten sein dürfte.

2. Die zu erwartenden, bei höherer Temperatur beständigen Produkte der destruktiven Destillation.

Bezüglich des ekonomischen Effektes entsteht die weitere Frage: Welche Produkte sind bei der destruktiven Destillation des Erdöls bezw. Masuts zu erwarten sowie als technisch wertvoll erwünscht?

Bei der Trockendestillation kompliziert gebauter organischer Körper entstehen bekanntlich, besonders wenn ihre zerlegbare Stoffmenge, wie z. B. die der Steinkohlen, zum überwiegenden Teil von Kohlenstoff und Wasserstoff besteht, desto mehr Benzolverbindungen je höher die Temperatur ist. Dies wurde früher darauf zurückgeführt, dass in den Ausgangsmaterial Verbindungen vorhanden wären, die fertig gebildeten Benzolkerne enthalten sollten. Die neue-

[1]) Journ. f. Gasbel. 1896, S. 377 ff. sowie Habilitationsschrift, Karlsruhe.

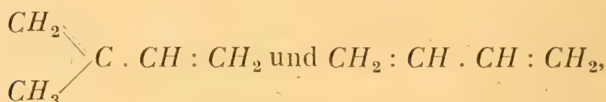
ren Forschungen, u. A. seitens Amé Pictets, Fr. Fischers, E. Harries', haben indes ergeben, dass vielmehr sowohl die Steinkohle wie auch andere benzolgebende Stoffe an alicyklischen Körpern reich sind. Auch die älteren Angaben, dass die Benzolkohlenwasserstoffe ihre Bildung einer pyrogenen Kondensation von Acetylenverbindungen verdanken, scheinen nur bezüglich eines kleineren Teils richtig zu sein.

In denjenigen Fällen, bei denen man durch trockne Destillation relativ grössere Mengen von *Benzolkörpern* gewinnt, kann man also als ziemlich wahrscheinlich hinstellen, dass letztere hauptsächlich durch *Dehydierung* von alicyklischen, und wohl auch primär von alifatischen Stoffen entstanden sind. Auch in diesem Falle scheint also die Regel zu gelten, dass das wichtigste Ergebnis einer stark erhöhter Temperatureinwirkung auf organische Körper *in einer Wasserstoffabspaltung besteht. Das Wasserstoffatom hat offenbar bei Rotglut und darüber eine stärkere Affinität zum Wasserstoff als zum Kohlenstoff.* Diese Neigung des an letzterem gebundenen Wasserstoffs, in molekularer Form zu entweichen, führt wahrscheinlich in vielen Fällen zur Bildung von Benzolverbindungen.

Bei der durch stark erhöhte Wärmewirkung bewirkten Zersplitterung grösserer Molekule müssen aber auch kleinere Bruchstücke derselben auftreten. Unter diesen sind Methan sehr, Äthylen und Azetylen ziemlich beständig und häufig in grösserer Menge nachgewiesen worden. Diese Gase bilden bekanntlich, neben dem Wasserstoff, den Hauptanteil des bei jeder trocknen Destillation eines hauptsächlich aus Kohlenstoff und Wasserstoff bestehenden Rohmaterials *immer auftretenden Gases* (Leuchtgas, Ölgas usw.), das manchmal den quantitativ wesentlichen und in vielen Fällen auch höchstwertigen Teil der entstandenen Produkte bildet. Als fast niemals fehlende Bestandteile sind ferner in dem Gase eine Menge anderer, mehr oder weniger leicht kondensierbarer, meistens ungesättigter Kohlenwasserstoffe vorhanden, die in den technischen Gasanalysen unter der Gesamtformel *Cm Hn* zusammengeführt und worin auch

Benzol und dessen Homologe in Gasform zu finden sind. Diese Bestandteile erteilen dem Gas wertvolle Eigenschaften. Je mehr von denselben vorhanden, je kohlenstoffreicher folglich das entstandene Gas, von desto höherem technischen Wert ist es *seines höheren Heizwertes* und manchmal *seines Leuchtvermögens wegen*, das in vielen Fällen von Bedeutung ist.

Einige Untersuchungen aus den letzten Jahren haben zudem gezeigt, dass ausser Methan, Äthylen und Azetylen unter den alifatischen Kohlenwasserstoffen *diejenigen, welche zwei konjugierte Doppelbindungen enthalten, vor allem Isopren und Butadien:*



$$\begin{matrix} CH_2 \diagdown \\ CH_3 \diagup \end{matrix} C\,.\,CH : CH_2 \text{ und } CH_2 : CH\,.\,CH : CH_2,$$

bei erhöhter Temperatur entstehen und dabei also beständig sind. Isopren ist bekanntlich ein Produkt des trocknen Erhitzens der meisten Terpene, wie T i l d e n[1]) schon vor geraumer Zeit bezüglich des Pinens gezeigt hat. Die bekannte Untersuchung von H a r r i e s und G o t t l o b[2]) über die Isoprenlampe hat die Darstellung desselben Diolefins in leichter Weise, besonders vom Limonen (Dipenten) aus, kennen gelehrt. Selbst habe ich[3]) gelegentlich konstatiert, dass beim Leiten von Pinendämpfen durch ein auf etwa 600° erhitztes, mit porösen Körpern gefülltes Eisenrohr, ausser Isopren nach T i l d e n, auch Butadien in kleiner Menge entsteht. In einer deutschen Patentanmeldung vom 1911 oder 1912 — ich konnte die Angabe nunmehr in der Litteratur leider nicht wiederfinden — wurde von einer deutschen Fabrik kundgegeben, dass Butadien auch unter den in den Kokereien entstehenden Gasen auftritt. Andere Patente teilen mit, dass Isopren bezw. Butadien auch beim starken

---

[1]) Journ. Chem. Soc. **45**, 410 (1884).
[2]) Ann. **383**, 228 (1911).
[3]) Nach unpublizierten Versuchen.

Erhitzen von Cykloparaffinen bezw. deren Ketoderivaten entstehen.

Wegen der erheblichen Hitzebeständigkeit des Isoprens und Butadiens ist anzunehmen, wie ich schon im Vorwort angeführt habe, *dass sie konstant oder wenigstens sehr häufig auftretende Bruchstücke der pyrogenen Zersetzung der mehr oder weniger komplizierten organischer Stoffe sind, welche in Kohlenwasserstoffe zerfallen und der alicyklischen sowie alifatischen Reihe angehören.*

Dieser von mir schon 1910 in einem technischen Gutachten ausgesprochene Ansicht kann ich noch heute aufrechthalten. *Isopren und Butadien wären* darum, meiner Überzeugung nach, *unter den Produkten der trocknen Destillation von Erdölen und ihren hoch siedenden Residuen als normale Bestandteile zu erwarten.*

Es handelte sich nun um den Nachweis und die Bestimmung der Menge dieser Kohlenwasserstoffe in den Destillaten, die bei der Zersetzung des Masuts entstehen. Dies hatte ich schon vor mehreren Jahren auf mein Arbeitsprogram gestellt, obwohl die Ausführung dieser Arbeit, wegen anderer Untersuchungen, bis auf den Herbst 1916 verschoben worden war. *Die Aufgabe war von allergrösster wirtschaftlicher Bedeutung,* da bei positivem Nachweis von Isopren (event. auch vom Butadien) die bisher als unbeantwortet gebliebene Frage entschieden werden konnte, **woher das in fast unermesslicher Menge nötige Rohmaterial zur technischen Darstellung des Weltbedarfs an künstlichem Kautschuk zu beschaffen wäre.**

In einem den 10. Februar 1915 vor *Finska Kemistsamfundet* in Helsingfors gehaltenen Vortrag [1]) habe ich hervorgehoben, dass es für die chemische Grossindustrie, um einigermassen mit dem in der Natur erzeugten Kautschuk konkurrenzkräftig zu sein, nötig ist über *einen reichlichen, ja unerschöpflichen Vorrat an einem billigen Rohmaterial* verfügen zu können. Von den damals bekannten Methoden, die ausführlich behandelt wurden, fand ich nur zwei, welche dieser

---

[1]) Meddelanden 24, S. 1 (1915) des Vereins.

Bedingung gerecht wurden, nämlich die Darstellung von Methylisopren aus Pinakon über das Aceton (*Farbenfabriken vorm. Friedr. Bayer & C:o)* und die Bildung von Isopren aus Petroleum-Isopentan über verschiedene Chlorderivate desselben *(Badische Anilin- und Sodafabrik* bezw. *Chemische Fabrik auf Actien [vorm. E. Schering]* [1]). Aber auch diese im Grossen ausführbare Methoden sind schliesslich zu kompliziert. Gelänge es dagegen, *Isopren (bezw. Butadien) als Nebenprodukt bei einer in geeigneter Weise geleiteten trocknen Destillation von Erdölresiduen (bezw. von Erdölen selbst)* zu gewinnen, so läge hierin ohne Zweifel *eine ideales und sehr billiges Material für die Kautschukdarstellung auf künstlichen Wege*, die wahrscheinlich mit der Gewinnung von Plantagenkautschuk konkurrenzfähig sein könnte.

Um welche ekonomische Faktoren es sich hier handelt, werden wir weiter unten ersehen. An dieser Stelle sei nur erwähnt, dass man die Produktion von Plantagengummi im Jahre 1919 auf rund 300,000 Tonnen vorausberechnet hat. Bei einem Preise für den Kautschuk von nur Fmk 7 pro kg, würde dies eine Summe von über 2 Milliarden Mark betragen. Auch hieraus wird ersichtlich, wie wichtig die Beschaffung einer ergiebigen Quelle für ein geeignetes, billiges Rohmaterial zur Deckung dieses gewaltigen Bedarfs sein muss.

In der Vorrede zum ersten Band seines im Gemeinschaft mit von Höfer ausgegebenen Standard-Werkes: *Das Erdöl* sagt C. Engler folgendes:

»Dies (eine erhebliche Arbeitsleistung) ist aber eine um so dringendere Forderung an Wissenschaft und Technik des Erdöls, als sich auch für diese Industrie in nicht ferner Zeit die Notwendigkeit heraustellen wird, weit mehr und in rationellerer Weise als bisher die in dem wertvollen Rohmaterial schlummernden Kräfte zu wecken und die darin ruhenden Schätze zu heben, mit anderen Worten, eine bessere und lohnendere Verwertung der Haupt- und Nebenbestandteile des Erdöls und der verwandten Bitumina zu

[1]) Vergl. über die diesbezüglichen Arbeiten meine Abhandlung: *Über Derivate der Petroleumpentane sowie einiger ihrer Homologe;* Öfversigt af Finska Vetensk.-Societ. Bd. LVIII Afd, A. N:o 1, S. 1—122 (1915—1916).

erzielen. Welcher Erfolg z. B., wenn es gelänge, die Erdölresiduen über die Butadienverbindungen in Kautschuk zu verwandeln, ein Problem, welches ja theoretisch und ganz im Kleinen schon als gelöst betrachtet werden darf» [1]).

Diesen Worten des Altmeisters auf dem betretenen Gebiete habe ich nichts anderes zuzufügen, als schon vorgreifend mitzuteilen, *dass es mir schon im Oktober 1916 gelang, das Isopren in den Destillationsprodukten des Masuts sicher nachzuweisen.* Die Vervollständigung dieser Entdeckung durch die technische Darstellung von Kautschuk aus diesem Isopren suchte ich darauf zu verwirklichen, doch wurde dieses Bestreben durch die politischen Verhältnisse in Russland und den Krieg völlig vereitelt. Auf diesen Umständen beruht es ferner, dass die Publikation dieser Abhandlung erst jetzt hervortritt (vergl. auch den Vorwort). Die Zwischenzeit ist zur Vervollständigung sowohl des experimentellen wie des theoretischen Tatsachenmaterials benutzt worden, so dass die Arbeit in mancher Beziehung als besser ausgearbeitet hervortreten kann.

Um das anzustrebende Ziel zu verwirklichen, galt es also die Bedingungen für die trockne Destillation des Masuts zu ermitteln, wodurch einerseits reichliche Mengen eines Gases von hohem Heizwert, andererseits möglichst viel Benzol und Toluol, als die um meisten wertvollen Räpresentanten der aromatischen Kohlenwasserstoffe, sowie von Isopren und event. von seinen Homologen gewonnen würden.

Die Ausfuhrung der destruktiven Destillation des Erdöls bezw. seiner Bestandteile ist in so zahlreichen wissenschaftlichen und technischen Arbeiten beschrieben worden,

---

[1]) Der letzte Relativsatz: »welches ja theoretisch usw.», könnte vielleicht von Jemandem dahin gedeutet werden, dass die Verwandlung von etwa aus Erdölresiduen gewonnenen Butadienverbindungen schon im Jahre 1913, als das zitierte Werk erschienen war, im ganz Kleinen gelungen wäre. Jedoch kann er sich nur auf die schon damals bekannten Kautschukbildung aus synthetischen Butadienverbindungen seitens Harries' u. A. beziehen. Für die erste Auffassung finde ich nämlich weder in dem grossen und sehr vollständigen Handbuch von Engler selbst, noch sonst in der einschlägigen Litteratur irgend welche Andeutung.

dass es durchaus geboten ist, an dieser Stelle eine Übersicht darüber zu geben[1]).

3. Die bei der pyrogenen Zerlegung und Zersetzung des Rohmaterials verlaufenden Prozesse.

a) Die Zerlegung (Spaltung) durch Erhitzen.

Nach den zahlreichen theoretischen und technischen Erfahrungen auf diesem Gebiete unterscheidet mar, je nach der Art der Wärmewirkung, zwischen **Zerlegung** (oder *Spaltung*) einerseits und **Zersetzung** andererseits. Zum Verständnis dieser beiden Begriffe, die man früher verwechselt hat, sei folgendes bemerkt.

I. Vorkraken. Destilliert man ein Rohöl bzw. irgend welchen der höher siedenden Anteile, so findet schon bei einer Temperatur von 200—250°, schneller bei noch höherer, die Bildung neuer Produkte statt. Die hoch molekularen Bestandteile der Öle spalten sich, zunächst fast ohne Abgabe von Gasen, in kleineren Bruchstücke, die viel niedriger als jene sieden. Die unter gewöhnlichem Druck auftretenden Destillate sind mit dem ursprünglichen Öle nicht mehr identisch sondern zeigen einen kleineren Molgewicht und ensprechend niedrigeren Siedepunkt bezw. kleineres spec. Gewicht. Im Allgemeinen, und soweit die Destillation nicht bei höherer Temperatur als etwa 300° geschieht, enthalten diese niedrig siedenden Anteile mehr von gesättigten Körpern, wogegen die im Rückstande verbleibenden eine Anreicherung an ungesättigten Kohlenwasserstoffen aufweisen. Bei etwas höherer Temperatur ist meist eine allgemeinere Zunahme an ungesättigten Teilen zu verzeichnen. Andererseits erleiden die in den Rückständen vorhandenen wasserstoffärmeren und daher überhaupt auch weniger gesättigten

[1]) Die wichtigeren Arbeiten hierüber sind in dankenswerter Weise in dem oben erwähnten, gross angelegten Werk »*Das Erdöl*» von Engler und Höfer zusammengestellt: Bd. I. S. 562 ff. von C. Engler (1913); Bd. III. S. 385—300 von L. Singer (1911).

Körper häufig eine Kondensation, z. T. auch eine Polymerisierung zu höher molekularen Körpern.

Diese Umsetzungen finden bereits bei einer Temperatur von 300—400° statt. Dabei sind wir schon in ein Temperaturgebiet gelangt, bei welchen sich nach den neueren Anschanungen der

II. Krakprozess oder Krackingprozess abspielt. Der so benannte Vorgang wird eben durch den Reaktionsgang charakterisiert, den wir oben als eine **Zerlegung** *(Spaltung)* betrachtet haben. Sie bedeutet die unter Wasserstoffverschiebung auftretende Teilung dei Molekule von mittlerer Grösse teils in extreme, leichtere (Benzine, Leuchtöl, Mittelöl), teils in schwerere (Schweröl, Teer). Nach Versuchen von Engler wurde ein im zugeschmolzenem Rohr so erhitzes Öl als ganzes dünnflüssiger. Bei der Destillation stellte es sich heraus, dass in ihm leichtere und schwere Teile als vorher vorhanden waren. Kohlenstoff und Wasserstoff brauchen sich bei dieser Zerlegung, das Kraken genannt wird, nicht ausgeschieden werden

Bei dem Krakprozess können — als einfachster Fall — zwei Spaltstücke mit gleichem bezw. fast gleichem Kohlenstoffgehalt entstehen, wie Thorpe und Young[2]) bei der Zerlegung von Normalbutan, $CH_3 . CH_2 . CH_2. CH_3$, in Äthan, $CH_3 . CH_3$, und Äthylen, $CH_2 : CH_2$, festgestellt haben. Meistens entstehen aber keine Gase. Die hochmolekularen Kohlenwasserstoffe zerfallen in mehrere gesättigte und ungesättigte Spaltstücke, die eine ganze Reihe von ungleich hoch siedenden Grenzkohlenwasserstoffen neben Naftenen und Olefinen bilden. Die Kerne der Naftene können, meiner Ansicht nach, entweder als präexistierend vorhanden sein oder auch aus den Äthylenkohlenwasserstoffen entstehen.

Wie Engler hervorhebt [3]), rückt bei vorsichtig geleiteter Operation (hohem Druck, nicht zu hoher Temperatur sowie langer Destillationszeit) der Spaltungspunkt bei der

---

[1]) *Das Erdöl*, Bd. III. S. 388 (1911).

[2]) Chem. News **23**, 124 (1871); Ber. 5, 556 (1872).

[3]) a. a. O. Bd. I. S. 567.

Zerlegung mehr gegen die Mitte des Mols. Es entstehen vorwiegend flüssige Produkte, daneben wenig Gase und wasserstoffarme, hochsiedende zähe Massen und Kohle. Diese

III. Destillation unter Überdruck bezeichnet also nach obigem ebenfalls einen Zerlegungsprozess. Wenn die niedrig siedenden Spaltungsprodukte Gelegenheit haben, sich in einem gekühlten Teil des Apparats zu verflüssigen, so geht bei der eintretenden *Druckdestillation* die Zerlegung in anderer Weise vor sich, indem sie sich bei niedrigerer Temperatur und viel rascher vollzieht. Gleichviel verläuft sie jedoch unter Bildung grösserer und gleichartigerer Spaltstücke, was sowohl bei der Destillation von Erdöl wie von Residuen, von erheblichem Wert ist, indem gleichzeitig eine Mehrausbeute am Leuchtölen und, je nach der Vollständigkeit der Destillation, auch an guten Schmierölen bezw. glänzendem Asfalt auftritt.

Nach Versuchen von Engler und Hamai[1]) über die Produkte der Überhitzung eines schweren Zylinderöls aus Baku im Autoklaven, wobei Paraffinkohlenwasserstoffe sowie Naphtene in erheblicher Menge, mit wechselnden Quantitäten ungesättigter Öle (Olefine usw.) gemengt, neben einem Wasserstoffarmen, zähen, teerigen bis asfaltartigen Rückstand erhalten wurden, »erscheint es nicht unmöglich», wie die genannten Autoren sagen, »dass es auf dem Wege der Druckerhöhung bei richtiger Regulierung von Temperatur und Druck gelingt, *schwere Mineralöle ohne nennenswerte Gas- und Koksbildung vollständig in leichter flüchtige Produkte zu spalten*». Diese bemerkenswerte Äusserung wollen wir für unseren Zweck im Gedächtniss behalten.

IV. Das Überhitzen unter vermindertem Druck, welches, im Gegensatz zu derselben Operation unter Überdruck, dadurch charakterisiert ist, dass der Spaltungspunkt mehr und mehr gegen das Ende des Mols rückt und, während die Menge der Mittelöle abnimmt, die Bildung der sehr leichten und sehr schweren Produkte bis zur Koksbildung begünstigt, hat bisher fast keine technische Bedeutung gehabt. Es ist

---

[1]) Ber. **43**, 388 (1910); *Das Erdöl*, Bd. I S. 577.

nur aus dem Grunde erwähnenswert, weil es einen Übergang bildet zu den Prozessen, die auf

b) die Zersetzung des Rohmaterials auf pyrogenem Wege

beruhen. Die hierher gehörigen Operationen finden bei höherer Temperatur statt als der Krakprozess. Sie bewirken allgemein weitgehende Veränderungen des Materials und sind durch mehr oder weniger starke Gasbildung charakterisiert. Am wichtigsten ist

V. die pyrogene Zersetzung von Gasöl, welche zur Bereitung des viel angewandten Ölgases dient, derjenige Prozess dieser Art, der bei der relativ niedrigsten Temperatur verläuft. Da derselbe für unsere Darstellung ein erhebliches Interesse darbietet, wird darauf später etwas näher eingegangen. Hier soll nur folgendes erwähnt werden.

Im allgemeinen wird zur Ölgasbereitung in der Technik Erdölfraktionen angewandt, die bei der Destillation zwischen den Leuchtöl- und den Schmierölfraktionen liegen. Ein in der westeuropäischen Praxis angewandtes, näher untersuchtes Gasöl ist das von Pechelbronn im Deutschland, vom Siedepunkt 250 bis 360°. Unter den Produkten der russischen Nafta entspricht es, wie eingangs erwähnt, dem Solaröl. Die charakterisierbaren Bestandteile des letzteren sind leider wenig bekannt, wohl aber sind nach dem Handbuch von S t r a c h e [1]) über die gewöhnlichen Gasöle folgende Angaben bekant. In denselben sind sowohl Paraffine wie auch Naftene und ungesättigte Kohlenwasserstoffe vorhanden. Nach R o s s und L e a t h e r [2]) sollen die Gasöle der Paraffinreihe das meiste und beste Gas geben. Ungesättigte Kohlenwasserstoffe sollen weniger und die cyklischen am wenigsten Gas geben, doch sind die Unterschiede im allgemeinen nur unerheblich. Aus niedrig siedenden Kohlenwasserstoffen erhält man mehr Gas als aus höher siedenden.

Von den zugehörigen theoretischen Arbeiten kommt den Untersuchungen von H a b e r [3]) über die Überhitzung der

---

[1]) *Gasbeleuchtung und Gasindustrie*, S. 644 ff. (1913).

[2]) Zeitschr. f. angew. Chem. **1908**, 602. Journ. f. Gasbel. **1909**, 111.

[3]) Journ. f. Gasbel. **1896**, 377 ff.

Gase reiner Kohlenwasserstoffe (Hexan, Trimethyläthylen) viel Interesse zu, weil man bei denselben den Einfluss verschiedener höherer Temperaturen studieren kann. Aus Hexan erhielt Haber z. B. folgende Resultate:

	bei 600°	700°	1200°
Kohlenwasserstoffe C_nH_{2n} (hauptsächlich Äthylen)	50,1 %	51,4 %	4,4 %
Kohlenwasserstoffe C_nH_{2n+2} (hauptsächlich Methan)	37,2 »	34,1 »	22,6 »
Wasserstoff, freier	10,6 »	13,1 »	65,2 »
CO, CO_2 und N_2	2,1 »	2,4 »	7,8 »

Während bei 600° und 700° hauptsächlich Methan und Äthylen entstanden, ergaben die Versuche bei 1200° als Hauptprodukte Kohle und Wasserstoff. Benzol und Azetylen traten immer in untergeordneter Menge auf. — Aus dem Amylen erhielt Haber bei 600—800° ebensoviel Benzol wie vom Hexan. Die Bildung des Benzols findet also nicht unter Zusammenschluss der Hexankette statt, sondern durch Aufbau aus niederen Spaltstücken. Dass die Benzolbildung bei der Ölgasbereitung unter Anwendung von anderen Materialien nicht einzig in dieser Weise geschieht, darüber dürften die Meinungen nicht aus einander gehen.

Aus seinen Versuchen zog Haber den Schluss, dass während der hauptsächlich unter Wasserstoffverschiebung sich vollziehende Zersetzung (bei niedrigen Temperaturgraden) von den Kohlenwasserstoffen kleinere Bruchstücke — endständige Glieder mit weniger als drei Kohlenstoffatomen (vorwiegend aus Methan, Äthan und Äthylen bestehend) — abgetrennt werden. Nebenbei findet auch pyrogener Abbau statt, wodurch die Bildung der flüssigen Nebenprodukte erklärlich wird.

Die beste Temperatur für die Darstellung von Ölgas liegt über 700°, also erheblich höher als die bei dem Krakprozess im eigentlichem Sinne. Hierüber sowie besonders über die wichtigen Versuche von Hempel[1]) werde ich später näheres mitteilen.

[1]) Journ. f. Gasbel. 1910. S. 53, 77, 101, 137.

Die Ölgasdestillation stellt, wie aus Obigem ersichtlich, einen Zersetzungsprozess, desto typischer je höher man erhitzt, dar.

VI. Darstellung von aromatischen Kohlenwasserstoffen durch Destillation von Erdöl bezw. Erdölrückständen [1]. Schon bei der Ölgasbereitung (Temperaturoptimum 700—800°) entstehen Benzolkohlenwasserstoffe, die teils in das nebenbei gebildete Gas, teils in das Teer übergehen. Bei dem eigens auf die *Darstellung* dieser Kohlenwasserstoffe aus Erdöl bezw. den Residuen zielende Destillationsprozess muss die Temperatur etwas höher (etwa 800—900°) liegen. Die Beschreibung der betreffenden Verfahren bezw. Patente geben meistens Temperaturen dafür an, die höher als Rotglut liegen und sogar 1200° erreichen. In vielen Fällen lässt man den Prozess erst bei niederer, und dann zur Vervollständigung bei höherer Temperatur verlaufen. Als Nebenprodukte entstehen immer Gase und ziemlich viel Teer.

Im allgemeinen gelingt die fabrikatorische Benzolbildung nicht gut in der Praxis. Besonders bei den paraffinhaltigen Ölen soll sie ungenügend sein. Obwohl man hierbei tiofenfreie Benzole erhält, scheint die Gewinnung derselben aus Erdölen mit der Darstellung von Benzol und Homologen aus Steinkohlenteer nicht konkurrenzfähig zu sein. Als Notbehelf, wie im Russland während des Weltkriegs 1914—1918, wurde jedoch der einheimische Bedarf an Benzol und Toluol aus kaukasischem Erdöl besorgt.

c) *Zusammenfassung.*

Obige ausführliche Darlegung über die Umwandlungen des im rohen Erdöl vorhandenen Materials zeigt in kurzer Fassung folgendes:

Was nicht unterhalb einer Temperatur von etwa 250° unzersetzt übergeht (Benzine und ein Teil des Leuchtöls) unterliegt bei gesteigertem Erhitzen Veränderungen. Von

[1]) Geschichtliches: *Das Erdöl*, Bd. I (1913), S. 587 ff. Bd. III, S. 424 ff. (1911).

250° an — dem *Vorkraken*, wie ich diesen Intervall der trocknen Destillation genannt habe —, werden nur die komplizierteren Bestandteile unter Abstossen nicht allzu grosser Brüchstücke zerlegt. Bei etwas höherer Temperatur (wohl 350°) fängt *der eigentliche Krakprozess*, von weiterer Wasserstoffverschiebung begleitet an, unter Teilung auch von Molekulen mittlerer Grösse, teils in extremere, leichtere (Benzine, Leuchtöl, Mittelöl), teils in schwerere (Schweröl, Teer). Die erstgenannten sind Produkte eines analytischen Vorganges, die letztgenannte eines synthetischen. Wird der Prozess vorsichtig geleitet, wie z. B. unter höherem Druck, so rückt der Spaltungspunkt der Zerlegung mehr gegen die Mitte des Molekuls *(Destillation unter Überdruck)*, unter Bildung vorwiegend flüssiger Produkte (Mehrausbeute an Leuchtölen), daneben kleinerer Mengen von Gasen und an Wasserstoff armer, hochsiedender zäher Massen sowie Koks. Wird der Druck hingegen vermindert unter Steigerung der Temperatur *(Überhitzen unter vermindertem Druck)*, so rückt der Spaltungspunkt mehr und mehr gegen das Ende des Molekuls, unter Entstehung sehr leichter und andererseits sehr schwerer Produkte bis zur Koksbildung.

Dieser Fall bildet den Übergang zwischen der *Zerlegung* und der *Zersetzung* auf pyrogenem Wege. Als für die letztere typisch begegnen wir zunächst *die trockne Destillation des Gasöls*, die bei etwa 700—800° stattfindet und deren Hauptprodukt das sogenannte *Ölgas* ist, ein an Kohlenwasserstoffen des Typus *CmHn* reiches Gas von hohem Heizwert und Leuchtvermögen. Zugleich entsteht viel Teer und ausserdem niedrig siedende Kohlenwasserstoffe, die sich aus dem Gas beim Abkühlen bezw. Komprimieren abscheiden. Schliesslich gehört hierher *die Destillation des Rohmaterials auf Benzol und und seinen nächsten Homologen*, die bei Temperaturen oberhalb 800° am besten bis etwa 900° stattfindet. Die Gasausbeute ist hier grösser, doch liegt der Heizwert des Gases unter dem des Ölgases. Schliesslich gelangen wir zu der *pyrogenen Zersetzung* bei sehr hoher Temperatur (etwa 1000 bis 1200°). Hierbei entstehen, neben etwas Methan, fast ausschliesslich Wasserstoff und amorfer Kohlenstoff.

4. Orientierende Versuche.

Beim Verfolgen des Hauptzwecks unserer vorliegenden Arbeit (s. den Abschluss des zweiten Kapitels), erschein es der obigen Übersicht nach als annehmbar, dass man bei höherer Temperatur, und zwar von etwa 700 bis 800° — dem Gebiete der Ölgasbildung — die besten Aussichten haben würde, einerseits einen Gas von hohem Heizwert, andererseits Benzol und Toluol sowie, falls meine Voraussetzungen richtig waren, Isopren (bezw. Butadien) zu gewinnen, mit einem Worte das Masut zum grössten Teil in technisch wertvollen Produkten zu verwandeln.

Bei den ersten Versuchen war meine Aufmerksamkeit zunächst auf die Bildung und die event. Isolierung des Isoprens bezw. Butadiens gerichtet. Da letzteres bei etwa 0°, das Isopren bei 33,5° siedet, so müssten beide, falls sie gebildet wurden, in dem bei der Operation entwickelten Gase fast vollständig zu finden sein. Es war daher nötig, eine möglichst weitgehende Kondensation des letzteren zu bewirken. Dabei war man in erster Linie auf eine Kompression unter Abkühlung angewiesen. Bei einem dahin zielendenden Versuch war aber die Ausbeute an flüssigen Anteilen sehr gering. Besser gelang ein Auflösen der gesuchten Bestandteile aus dem Gase.

Der angewandte Apparat schloss sich einem einfachen, von Hempel[1]) früher empfohlenen Anordnung an und bestand aus einem mit Eisendrehspähnen gefüllten Eisenrohr, dass in einem schräg gestellten Verbrennungsofen auf deutlichen Rotglut erhitzt wurde. In das abere Ende wurde das Masut allmählich eingelassen. Bei der primitiven Anordnung des Apparates war es nur möglich, eine annähernd konstante Temperatur einzuhalten. Es traten reichliche Mengen von Gasen auf. Sie wurden zunächst durch zwei als Teerfänger benutzten, in einem Ölbad auf 150° erhitzten *Erlenmeyer*-Kolben, ferner durch einen mit Schnee und Kochsalz gekühten Schlangenkühler, dann durch vier mit

[1]) Journ. f. Gasbeleucht. **1910**, S. 53, 77, 101, 137.

dünnflüssigem Paraffinöl, dessen Siedepunkt oberhalb 240° lag, beschickten, auf — 15° bis — 20° gekühlten Gaswaschflaschen aus Glas, erst in der einen, dann in der entgegengesetzten Reihenfolge geleitet. Die unkondensiert gebliebenen Gase wurden in einem Gasometer gemessen. Es zeigte sich, dass das Öl ein vorzügliches Lösungsmittel für die kondensierbaren Körper darstellte. Durch Abwägen wurde die Gewichtszunahme der Flaschen, und somit die Menge der aufgelösten Gasbestandteile festgestellt. Nachher wurde der zusammengegossene Inhalt der Flaschen destilliert, bis die Temperatur der Flüssigkeit auf 180° gestiegen war. Die nicht kondensierten Gase wurden auch mittels des Gasometers gesammelt und gemessen, wodurch der endgültige Gesamtvolum derselben bestimmt werden konnte.

Als Mittel mehrerer Versuche, die möglichst gleichmässig ausgeführt wurden, erhielt man, auf 1 kg Masut berechnet, in abgerundeten Zahlen:

Gase, berechnet als trocken bei 0°	603 l
Verflüssigte Kohlenwasserstoffe	82,4 g
Wasser	71,3 »

Daraus berechnet sich die Ausbeute in % (Dichte des Gases bei 0° 0,7238):

Gase	43,65 %
Verflüssigte Kohlenwasserstoffe	8,24 »
Wasser	7,13 »
Freier Kohlenstoff, Teer und Verlust	40,98 »

Die Menge kondensierbarer Kohlenwasserstoffe ist nicht unbedeutend. Die oben verzeichneten Mengen stellen das bei gewöhnlichem Druck bei Zimmervärme (etwa 15°) nach Abgabe gelöster Gase flüssig gebliebene Destillat dar. Dieses wurde nun weiter untersucht. Beim Destillieren einer Menge von 80 g wurden zunächst folgende drei Hauptanteile aufgefangen:

Hauptfraktion	I.	Siedep.	13—75°	17,6 g	22,0 %
»	II.	»	75—90°	52,0 »	65,0 »
»	III.	»	90—148°	9,6 »	12,0 »

Diese Destillation wurde mit einem Perlendeflegmator sorgfältig ausgeführt, und die Dämpfe in einem mit Eis-Kochsalz-Mischung abgekühlten Schlangenkühler kondensiert. Der Verlust war unbedeutend, da auch der Destillationsrest bis auf ein Paar Tropfen aus einem kleinen Fraktionierhölbchen destilliert und mitberechnet worden war. Die Fraktion I. wurde fraktioniert. Der Kohlenwasserstoffgemisch fing bei 13° zu sieden an, und bis 20° gingen etwa 4 g über. Darauf destillierte bei 20—33° eine weit kleinere Fraktion von etwa 1,5 g, bei 33—40° wieder eine grössere von etwa 5 g mit deutlicher Konstanz bei 35,6° über. Die Fraktion 40—50° war kleiner (etwa 2,0 g), bei 50—60° gingen etwa 0,5 g, bei 60—70° etwa 1,0 g über. Offenbar war in der bei 33—40° siedende Fraktion, schon dem Geruch nach, Isopren vorhanden. Dass tatsächlich ein schwerer Kohlenwasserstoff vorlag, ging aus dem spez. Gewicht ($d\,^{20}_{4} = 0{,}6857$) hervor. Ausserdem zeigte sich der Körper, der Baeyerschen Permanganatprobe nach, als ungesättigt.

a) Nachweis des Isoprens.

Die Fraktion 33—40° wurde über Natrium vorsichtig umfraktioniert. Die bei 32—35° siedende Hauptmenge zeigte dann das spez. Gewicht $d\,^{20}_{4} = 0{,}6736$. Für reines Isopren ist die Konstante $d\,^{18,5}_{4} = 0{,}6815$ festgestellt worden [1]). Wenn Isopren vorlag, war es mit einem leichteren Kohlenwasserstoff vermengt, unter denen in erster Linie Trimethyläthylen (Siedep. 35,5 %) sowie Pentan (Siedep. 37—39°) und Isopentan (Siedep. 30°) in Betracht kommen könnten.

Der von mir früher entdeckte [2]), leicht auszuführende

---

[1]) Harries und Gottlob, Ann. *383*, 159 (1911).

[2]) *Über Derivate der Petroleumpentane*, Öfversigt af Finska Vet.-Soc. Förh. Bd. 58, A, N:r 1. S. 74 (1915).

qualitative Reaktion zeigte mit aller Deutlichkeit, dass tatsächlich Isopren, und zwar mit etwas Trimethyläthylen verunreinigt, vorlag. Als nämlich eine kleine Menge in einem Probierröhrchen unter Eiskühlung mit wenig gepulvertem, wasserfreiem Aluminiumchlorid versetzt wurde, entstand binnen kurzem unter schwachem Aufkochen eine gelatinöse gelbliche Fällung, worin sich die ganze Flüssigkeit in einer halben Stunden verwandelte. Wurde das Kühlen unterlassen, gelatinierte die Probe unter spontaner Erwärmung in kurzer Zeit zu dem von mir in einer früheren Arbeit [1]) beschriebenen Kondensationsprodukt. Auch die ätherlösliche Modifikation wurde in erheblicher Menge erhalten.

Da, wie ich in der letztgenannten Arbeit gezeigt habe, einerseits völlig reines Isopren und andererseits Trimethyläthylen allein die genannten hochmolekularen Kohlenwasserstoffe nicht bilden, und Isopren, wie ich eben gefunden habe, weder mit Pentan noch mit Isopentan gemengt, in derselben Weise reagiert, so ist dadurch nachgewiesen worden, dass *Isopren als eines der Produkte der trocknen Destillation von Masut entsteht*. Dieses wichtige Ergebnis steht also mit der in einem vorigen Kapitel ausgesprochenen Voraussetzung in Übereinstimmung.

Qualitativ (wegen der kleinen zugänglichen Menge) wurde noch nachgewiesen, dass der bei 32—35° siedende Fraktion sowohl Brom wie Chlorwasserstoff additionell aufnimmt. Ferner gelang es mit einem restierenden Material von 2 g nachzuweisen, dass der Kohlenwasserstoff, mit metallischem Natrium einige Tage unterhalb 100° und nachher 12 Stunden auf 115° erhitzt, teilweise zu einer Kautschuk-artigen, in Alkohol unlöslichen Masse polymerisiert wird; ich bezweifle nicht, dass hier Natrium-Kautschuk vorlag, um so weniger, als dabei sowohl der ätherlösliche A-Modifikation, wie der ätherunlösliche B-Modifikation, welche beide ich früher [2]) bei der kondensation von technischen (Trimethyl-

[2]) *Neue hochmolekulare Kohlenwasserstoffe aus Isopren*, Ebenda 58, A, N:o 2, S. 6 ff. (1915).

[2]) *Über Derivate der Petroleumpentane* usw. S. 79 ff.

äthylen-haltigem) Isopren mit Natrium erhalten habe, auftraten.

b) *Nachweis von Benzol und Toluol.*

1. Bearbeitung der Fraktion II. auf Benzol. Von diesem grossen Hauptanteil vom Siedepunkt 75—90° wurden 35 g mit kleinen Mengen konz. Schwefelsäure, welche eine eminent kräftig verharzende Einwirkung darauf ansübte, behandelt. Nach 5-maligem Zusatz von je 2 g der Säure und Umschütteln wurde die Kohlenwasserstoffschicht nicht weiter affiziert, und weder sie noch die Säureschicht wurde gefärbt. Erstere wog nunmehr 23,5 g. Nach Behandlung mit einigen Körnchen Pottasche wurde mit einem kleinen Perlendeflegmator destillert, wobei folgende Fraktionen erhalten wurden:

bei	75—78°	2,5 g
»	78—84°	15,5 »
über	84°	4,5 »
	Verlust	1,0 »

In der Fraktion 78—84° hatte man, schon dem Geruche nach, mit Benzol zu tun. Bei erneuter Fraktionierung ging der überwiegende Teil (12 g) bei 79—82° über. Der Kohlenwasserstoff war nach Baeyer gegen Permanganat beständig. Das spez. Gewicht wurde zu 0,8630 bestimmt, welche Zahl allerdings niedriger ist als die Konstante für reines Benzol; diese beträgt nämlich bei 20° 0,8799. Offenbar war das erhaltene Benzol mit einem gesättigten Kohlenwasserstoff (Paraffin oder Cykloparaffin) verunreinigt.

Das Benzol wirklich vorlag, wurde in folgender Weise festgestellt. Beim Nitrieren der Benzolfraktion (1 Tl) durch Eintropfen in (6 Tln) gelber Salpetersäure ($d = 1{,}51$) wurde Nitrobenzol vom Siedep. 206—208°, mit seinem charakteristischen Geruch gebildet. Zum Überfluss wurde noch eine Probe mit Zinn und Salzsäure zu Anilin reduziert, das mit seinen Farbenreaktionen leicht identifizierbar war.

2. *Nachweis von Toluol.* Die über 90° siedende dritte Hauptfraktion (9,6 g) wurde wie die Benzolfraktion behandelt (s. o.). Auch hier liess sich das Toluol mit kleinen Mengen konz. Schwefelsäure von den ungesättigten Begleitstoffen reinigen. Beim Fraktionieren des mit Wasser gewaschenen und getrochneten Kohlenwasserstoffs ging ein erheblicher Teil (5 g) bei 105—112° über und hatte den spezifischen Toluolgeruch sowie eine Dichte $d\,^{20}_{4} = 0{,}8603$, die dem des Toluols ($d\,^{13}_{4} = 0{,}8708$) nahe liegt. Beim Nitrieren wie oben entstand ein bei 220—230° siedendes Nitroprodukt (offenbar ein Gemisch von *o*- und *p*-Nitrotoluol), dass sich in rohes Toluidin vom Siedep. 196—199° leicht überführen liess. Da kein anderer Benzolkohlenwasserstoff diese Siedepunkte für sich, seine Nitroprodukte und daraus erhältliche Aminoderivate aufzuweisen hat, so ist der Nachweis von Toluol als festgestellt zu betrachten.

5. Die Bestandteile des Ölgases.

Nachdem die im vorigen Kapitel beschriebenen Versuche gezeigt hatten, dass Isopren, Benzol und Toluol in den Produkten der pyrogenen Zersetzung des Masuts vorhanden sind, gewann die technische Ölgasdestillation für meinen Zweck ein ganz besonderes Interesse, weil sie bei ungefähr denselben Temperatur stattfindet wie die obige von mir ausgeführte Destillation. Aus diesem Grunde sei hier auf die Bestandteile des Ölgases und besonders auf diejenigen, die daraus durch höheren Druck ausgeschieden werden, etwas ausführlicher eingegangen. Darunter wollen wir die ungesättigten Kohlenwasserstoffe zunächst in Betracht ziehen.

Greville Williams[1]) hat 1884 angegeben, dass die Flüssigkeit, die sich durch Kompression der beim Überhitzen von Petroleum[2]) erhaltenen Gasen verdichten, aus Benzol, Toluol und Olefinen bestehen. Die letztgenannten finden

[1]) Chem. News **49**, 197 (1884).

[2]) Offenbar wird hier das als Leuchtöl gebrauchte, amerikanische Petroleum gemeint.

sich der Hauptsache nach in der unter 66° siedenden Fraktion, die genannten Benzolkohlenwasserstoffe in den darüber übergehenden Anteilen vor. Diese werden durch Behandlung mit verd. Permanganatlösung oder vorteilhafter bei Destillation mit verdünnter Salpetersäure von den Äthylen-Kohlenwasserstoffen getrennt und sind in verschiedenen Proben zu 24,6—65,6 % des Gesamtkondensates vorhanden. Den 10 März 1884 wurde Greville Williams ein englisches Patent N:o 4663 [1]) über diese Abscheidung erteilt. Darnach wird die erste, vor 65,5° übergehende Fraktion nicht benutzt, die zweite bei 65,5—87,5° siedende wird mit gleichen Teilen Handelssalpetersäure und Wasser behandelt. Dabei sollen die »Homologen des Ölbildenden Gases» in Verbindungen verwandelt werden, die zurückbleiben. — Man findet, dass es sich hier um Produkte handelt, die nach Obigem von mir nach einem ähnlichen Verfahren aus den russischen Erdölresiduen erhalten worden sind. Das Isopren, das eben 1884 von Tilden [2]) durch Überhitzen von Terpentinöl in grösserer Menge erhalten wurde, fand Williams in seinen Kondensaten nicht.

Etwas später als Williams untersuchten Armstrong und Miller [3]) »die Produkte der Gasbereitung aus Petroleum». Ausser Paraffinen und gesättigten »Pseudoolefinen» (Naftenen) waren darin Benzol, verschiedene seiner Homologe bezw. Naftalin und Olefine vorhanden. Sehr interessant ist die Angabe, dass unter den ungesättigten, sich mit Brom verbindenden Kohlenwasserstoffen auch ein mit Isopren isomeres *Pseudoacetylen* oder *Crotonylen*, C_5H_8, aufgefunden wurde. Es hatte den Siedepunkt 45° (Isopren siedet bei 33,5°), war vom Piperylen, $CH_2 : CH . CH_2 . CH : CH_2$, sowie auch von den vier anderen damals bekannten Kohlenwasserstoffen C_5H_8 verschieden und Isoallyläthylen, dem Namen nach durch die Formel $CH_3 . CH : CH . CH : CH_2$ darstellbar, genannt. Dass es tatsächlich mit Isopren keine

[1]) Ber. **17**, 546 (1884).

[2]) Journ. chem. Soc. **45**, 419 (1884).

[3]) Ebenda **49**, 74 (1886).

Identität aufwies, ging daraus sicher hervor, dass sein Tetrabromid fest (Schmp. 115°), während das des Isoprens flüssig ist.

Dass es weder Williams noch Armstrong und Miller gelang, Isopren aus den Produkten der destruktiven Petroleumdestillation zu gewinnen, mag in der Ungleichheit des von mir und von den genannten Forschern angewandten Rohmaterials liegen.

Aus den vielen übrigen Publikationen, die sich mit den Produkten der destruktiven Destillation befassen [1]), sei hier nur noch eine wichtige Arbeit von Lewes [2]) angeführt, welche, um den Einfluss der Destillationstemperatur auf die Menge und Zusammensetzung von Gas und Teer festzustellen, bei vier verschiedener Temperaturen, nämlich 500°, 700°, 900° und 100°, mit einem als »russisches Destillatöl» bezeichneten Produkt ausgeführt wurde, das durch einmalige Raffination aus russischem Petroleum bereitet worden war. Die Menge des Gases nahm mit der Temperatur zu, bis auf 84 kub. Fuss auf die Gallone Öl. Die Menge der ungesättigten Kohlenwasserstoff sank bei steigender Destillationstemperatur, die der gesättigten und des Azetylens stieg. Der Gehalt an Wasserstoff veränderte sich und betrug bei 500° 13,6 %, bei 700° 6,3 %, bei 900° 11,9 % und bei 1000° 21,5 %. Die Leuchtkraft war am höchsten bei einer Destillationstemperatur von 900°. Aus der Untersuchung des Destillationsproduktes bei 500° ging hervor, dass zuerst gesättigte und ungesättigte Kohlenwasserstoffe in angenähert gleich grossen Mengen entstehen. Bei höherer Temperatur nehmen die Paraffine zu, weil die ungesättigten Kohlenwasserstoffe Paraffine abspalten und auch die höheren Kohlenwasserstoffe Methan bilden. Bei der fraktionierten Destillation des Teers, zeigte sich dasselbe hauptsächlich aus Hexan, Hexylen, Heptan, Heptylen, Nonan und Benzol bestehend.

---

[1]) Vergl. die Litteraturangaben bei Engler und Höfer: *Das Erdöl*, Bd. I, S. 587 ff. (1913); Bd. III, S. 424 ff. (1911).

[2]) Journ. Soc. chem. Industr. **11**, 584 (1892). Chem. Zentr. bl. **1892** II, 680.

Wenn auch kein Isopren bezw. Homologe desselben bei diesen Untersuchungen aufgefunden wurden, so existieren jedoch, wie aus Obigem ersichtlich, recht grosse Analogien zwischen meinen Destillaten und den bei der Ölgasdestillation gewonnenen. Aus diesem Grunde teile ich aus der zugänglichen Litteratur, hauptsächlich nach dem bekannten Handbuch von S t r a c h e [1]), noch folgendes mit.

Bei der Fabrikation von Ölgas werden überhaupt sogenannte *Gasöle* angewandt, worunter im Allgemeinen die nach den Leuchtölen folgenden Fraktionen der rohen Naphta gemeint werden, die 10—15 % derselben betragen. Das oberhalb 280° bezw. 300° siedende *Solaröl* aus dem russischen Erdöl entspricht, mit seinen 18—19 % von der Rohnafta, den mitteleuropäischen Gasölen, die bei etwa 250—360° übergehen. Die Gasöle bilden gelbbraune Flüssigkeiten mit grünen bezw. blauen Reflex und haben eine etwa anderthalb- bis dreifach grössere Viskosität als die des Wassers. Der Kohlenstoffgehalt beträgt nach H e m p e l [2]), der 14 verschiedene Gasöle bezw. Rohöle und Residuen untersuchte, 84,5 bis 87,0 %, der Wasserstoffgehalt 11,4—13,0 %; ausserdem sind kleine Mengen von Stickstoff, Sauerstoff und Schwefel vorhanden. Der obere Heizwert (die Verbrennungswärme) variirt zwischen 10300 und 10900 mit nur kleinen Differenzen. Die Gasöle sollen aus Kohlenwasserstoffen mit 10 bis 23 Kohlenstoffatomen im Molekul bestehen. Die Zahl 10 muss jedoch, beiläufig bemerkt, falsch sein, denn Naftalin, das unter allen Kohlenwasserstoffen von diesem C-gehalt am höchsten siedet, hat den Siedep. von nur 218°, und seine Hydrüre sieden zwischen 212° (Dihydro-) und 188° (Dekahydro-). Die Siedepunkte anderer cyklischer Kohlenwasserstoffe C_{10} liegen etwa zwischen 140—190°, die der zugehörigen Benzolhomologe mit einer einzigen Ausnahme (Prehnitol mit 204°) unter 200°, das *n*-Dekan siedet bei 173° und folglich seine Isomeren unterhalb dieser Gradzahl.

---

[1]) *Gasbeleuchtung und Gasindustrie*, S. 664 ff. (1913).

[2]) *Über Gasöle und Ölgas*. Journ. f. Gasbeleucht. **1910**, 53 ff. *Das Erdöl*, Bd I., S. 586 (1913).

Ausser Gasen und wenig Wasser entsteht bei der Ölgasbereitung ziemlich viel Teer sowie Koks, doch ist die Teermenge, je nach der Provenienz bezw. Zusammensetzung, sehr verschieden. Bei den erwähnten Versuchen von Hempel, die in dieser Hinsicht nicht maasgebend sind, weil sie im Kleinen und nur mit wenig Substanz ausgeführt worden sind, variert die Teermenge zwischen 27—49 %. Im Grossen ist sie oft nicht unerheblich kleiner. Da eine reichliche Teerbildung immer auf Kosten der Gasausbeute stattfindet, muss nämlich die Erhitzung so geleitet werden, dass die Teermenge möglichst niedrig gehalten wird. Im Interwall 711—832° steigt die Gasausbeute mit der Temperatur. Der Leucht- und Heizwert nehmen jedoch gleichzeitig ab. Die oberen Heizwerte pro kbm bewegen sich zwischen 11,400 und 12,600 Kal und bleiben innerhalb 80° der Vergasungstemperatur konstant, ein Beweis, dass auf diese Art ein Vergleich zwischen verschiedenen Gasölen möglich ist. Bei Erhöhung der Temperatur erfolgt eine starke Methanabspaltung. Bei 880° ist nach Hempel das Optimum der Vergasungsmöglichkeit bereits überschritten.

Die Gasausbeute und die Qvalität des Gases variieren mit der Qualität und Provenienz des Gasöls erheblich. Nach Ross und Leather[1]) sollen die Kohlenwasserstoffe der Paraffinreihe, wie schon bemerkt, das meiste und beste Gas geben. Ungesättigte Kohlenwasserstoffe erzeugen weniger und die cyklischen (Naphtene) am wenigsten Ölgas, doch sind die Unterschiede meist unerheblich. Niedrig siedende Kohlenwasserstoffe geben mehr Gas als höher siedende, offenbar weil sie viel niedriger siedende Paraffine enthalten, die als Gase auftreten.

Strache[2]) äussert sich dahin aus, dass *auch das der Grube entströmende Rohöl mit Vorteil zur Vergasung verwendet werden kann, obwohl es noch nicht die umfangreiche Anwendung gewonnen hat, die es verdient.* Diese Ausserung ist für unsere Darstellung von erheblichen Interesse.

---

[1]) Zeitschr. f. angew. Chem. **1908**, S. 602.

[2]) a. a. O., S. 666.

Als Beispiel mag hier nach Hempel die Produkte der Vergasung von Pechelbronner Gasöl bei 782° angegeben werden, das die Zusammensetzung $C = 85,96$ %, $H = 12,97$ %, $S = 0,56$ % und $N = 0,14$ % hatte:

Aus 100 g Öl sind entstanden:

Gas, bei 0° und als trocken	60,2 l
Spez. Gewicht	0,7182
Oberer Heizwert	10,809 Kal(0°).
Teer	23,4 g
Koks	3,6 »

Zusammensetzung des Gases:

$CO_2 = 0,38$ %; $CO = 0,50$ %; schwere Kohlenwasserstoffe $Cm\,Hn$ 26,4 % Methan 43,8 %, Äthylen = 6,4 %, Wasserstoff = 18,5 % $N_2 = 4,17$; $O_2 = 0,89$.

Zu einer normalen Zersetzung brauchen nicht alle Öle eine Temperatur von gleicher Höhe. In den meisten Fällen tritt doch schon bei 800—900° Russbildung ein. Da jedoch die Zersetzungstemperatur von Gasölen bei etwa 700—750° liegt, so muss von Fall zu Fall die darüber liegende Temperatur angewandt werden, die durch Versuche als die am meisten geeignete für das betreffende Öl festgestellt worden ist.

Die in Form von Grafit abgeschiedene Kohlenstoffmenge beruht auf Überhitzung und muss in der Praxis täglich entfernt werden.

Die Ausbeute variirt, je nach der Qualität des Öles, zwischen 40 und 80 kbm pro 100 kg Öl. 20—30 % vom Gewichte des Öles treten als Teer auf. Dieses hat ein spez. Gewicht von 0,83 bis 1,04. Eine höhere Dichte des Teers entspricht einer höheren Retorten-Temperatur, so dass man aus jener auf die Temperatur im Retorte schliessen kann.

Das spez. Gewicht des Gases wechselt sehr. Je niedriger die Temperatur der Vergasung, desto höher der Gehalt an schweren Kohlenwasserstoffen, was für unserer Untersuchung sehr wichtig ist. Bei Steigerung der Temperatur nimmt die Menge des gebildeten Methans bezw. Wasserstoffs zu.

Technisch bei möglichst niedriger Temperatur dargestelltes Ölgas enthält im Mittel etwa 33 %, *also eine bedeutende Menge der uns interessierenden* Kohlenwasserstoffe *CmHn*, etwa 46 % Methan, etwa 15 % Wasserstoff, 2,5 % CO_2, 1 % *CO*, 0,5 % Sauerstoff und 2,0 % Stickstoff.

Von erheblichem Interesse sind für uns noch folgende dem Handbuch von Strache[1]) entnommenen Zahlen, welche für ein soger. *Solardestillat* russischer Herstammung gelten:

1.	749°	42,3 vol. %
3.	785°	28,4 » »
3.	921	8,3 » »

Entsprechend der schwankenden Zusammensetzung des Ölgases ist der Heizwert verschieden. Für Gas aus russischen Gasölen (sogen. Lüsteröl und Solardestillat) variirt der Heizwert zwischen 9000 und 12000 Kal (oberer Wert bei 0°). Das spec. Gewicht schwankt, entsprechend der Zusammensetzung, zwischen 0,6 und 0,9. Auch hier ist das bei geringerer Temperatur hergestellte Gas, zufolge seines höheren Gehalts an schweren Kohlenwasserstoffen, schwerer.

An dieser Stelle mag einiges über die *Bruttozusammensetzung der Gasöle* eingeschaltet werden, die für uns ein gewisses Interesse hat. Zwölf von Hempel[1]) genau untersuchter Gasöle zeigten die folgende Zahlen für Kohlenstoff und Wasserstoff, denen wir noch die hieraus auf 100 umgerechneten Prozente beigeben; ausserdem teilen wir noch den oberen Heizwert für diese Öle mit, welche Angaben später Anwendung finden werden:

---

[1]) a. a. O., S. 586 (1913).

	Aus der Elementaranalyse:		Auf 100 berechnet:		Oberer Heizwert gr. kal. für
	% C	% *H*	% *C*	% *H*	1 g Öl
Galizisches Gasöl *B*	87,00	12,98	87,02	12,98	10741
Pechelbronner Gasöl *P*	85,96	12,97	86,87	13,13	10882
Galizisches » *A*	86,49	12,94	86,99	13,01	10788
Gasöl aus schwerem Wietzer Rohöl	86,64	12,88	87,06	12,94	10893
Gasöl Messel von 1908 .	85,80	12,85	86,97	13,03	10744
» » » 1907 .	86,04	12,75	87,10	12,90	10479
Gasöl aus leichtem Wietzer Rohöl	86,54	12,73	87,18	12,82	10715
Rumänisches Gasöl *A* .	87,11	12,25	87,67	12,33	10723
» » *B* .	86,91	12,05	87,82	12,18	10651
Gasöl von Riebeck	84,49	11,95	87,61	12,39	10448
Paraffinöl von Riebeck	86,68	11,35	88,42	11,58	10321
Borneo Residue	87,91	11,33	88,58	11,42	—
	Im Mittel		**87,44**	**12,56**	**10671**

Die durchschnittliche Zusammensetzung der Gasöle nähert sich derjenigen der cyklischen Naphtylene, $C_n H_{2n-2}$ bezw. der der Terpene, wie folgende Zusammenstellung zeigt:

Berechnet für $C_{10}H_{16}$:	für $C_{10}H_{18}$:
C 88,13 %	86,84 %
H 11,87 »	13,16 »

Unter diesen Umständen ist kein Wunder, dass Isopren, das dieselbe Zusammensetzung wie die der Terpene besitzt, unter geeigneten Erhitzungsbedingungen entstehen kann. Aber eigentümlich ist, wie ich hervorheben möchte, dass obige Durchschrittszahlen für die Gasöle, nämlich C = 87,44 % und H = 12,56 %, den folgenden für den Kohlenwasserstoff *Cholesten*, $C_{27}H_{44}$, das Wasserabspaltungsprodukt

aus dem Cholesterin, $C_{27}H_{45} . OH$, berechneten Zahlen sehr nahe kommen:

C 87,93 %
H 12,07 »

Dies ist wohl kein Zufall, in Anbetracht der Wahrscheinlichkeit, dass Cholesterin teilweise als Rohmaterial für das Erdöl in Frage kommt. Nach den neueren Arbeiten [1]) dürften nämlich die optisch aktiven Bestandteile der Erdöle in der Hauptsache Zersetzungsprodukte dieses Alkohols sein.

Da die Gasöle, das Rohmaterial für das Ölgas, fast ausschliesslich nur Kohlenstoff und Wasserstoff enthalten, so müssen die Produkte ihrer trocknen Destillation fast völlig aus Kohlenwasserstoffen bestehen, vorausgesetzt, dass sich die Operation nicht bei übermässiger Temperatur vollzieht, die 800 bis 850° nicht übersteigt. Wird sie gesteigert, so entstehen, wie oben angegeben, Wasserstoff und freier Kohlenstoff in immer zunehmender Menge. Was dem Gasöl von Pechelbronn betrifft, mit $C = 86,87$ % und $H = 13,13$ %, dem einzigen, das auch in Bezug des daraus gebildeten Gases eingehender untersucht worden ist, so entstand daraus [2]) bei 782° aus 100 g Öl 60,3 l Gas vom spez. Gewicht 0,7182, also 43,3 g resp. Gewichtsprozente Gas. Von diesen Gasen bestanden 26,37 % oder 11,4 g aus Kohlenwasserstoffen $Cm\,Hn$. Gelingt es nach Ölgasbereitung in beliebigen Fällen diese Kohlenwasserstoffe zu verflüssigen, so können sie für anderen Zwecke als zum Beleuchtung bezw. Heizung verwertet werden. Das rückständige Gas kann man fortwährend als wertvolles Material dafür anwenden.

Das Kondensat dieser Kohlenwasserstoffe $CmHn$ ist daher geeignet, unseres Interesse besonders zu erwecken. Von seiner

[1]) Vergl. C. Engler: Die neueren Ansichten über die Entstehung des Erdöls, S. 38 (1907), sowie R. Albrecht, Diss. Karlsruhe 1917, ferner Engler und Steinkopf, Ber. **47**, 3362 (1914).

[2]) Strache, a. a. O., S. 669.

Menge bezw. chemischen Natur beruht nämlich, wie es eingangs angedeutet wurde, die Möglichkeit, die rohe Nafta bezw. deren Residuen völlig ekonomisch zu verwerten. Soweit bekannt, liegt irgend eine Untersuchung über diese wichtige Frage nicht vor. Es wird nun im folgenden versucht, einen dies bezüglicher Nachweis betreffs der russischen Nafta zu liefern.

6. Kondensate aus russischem Ölgas.

Obwohl die im Kapitel 4. beschriebenen Versuche deutlich gezeigt hatten, dass Isopren, Benzol und Toluol unter den niedriger siedenden Produkte der trocknen Destillation von Masut vorhanden sind, war es doch für diesem Untersuchung unbedingt nötig, grössere Mengen derselben Produkte zu untersuchen, um jeden Zweifel über diesen Nachweis zu haben und nötigen Unterricht über die Ausbeute zu gewinnen. Als ein geeignetes Material boten sich nun die in einigen Ölgas-Anstalten gewonnenen Kondensate, die eben aus denjenigen, als *CmHn* bezeichneten Kohlenwasserstoffen bestehen, von denen oben die Rede war. In denjenigen Fabriken dieser Art, die das Material für Beleuchtung von Eisenbahnvaggons liefern, wobei das Gas in eisernen Cylindern einem Druck von 10—18 Atm. ausgesetzt wird, erhält man nämlich immer ein von niedrig siedenden schweren Kohlenwasserstoffen bestehendes Kondensat, das die für unsere Untersuchung wichtigen Körper enthalten.

Zufällig war ich in der Lage, eine mehrere kg betragende Menge solcher Kondensate aus einer Ölgasanstalt in Russland, welches als Rohmaterial Masut aus Baku angewandt haben soll. Bei der Destillation wurden 14325 g des Kondensats mittels einer 1 m hohen Perlenkolonne nach Fagerlind zunächst in folgende drei Fraktionen geteilt:

Hauptfraktion	I: bis 75°	2762 g	19,3 %
»	II: 75—90°	7442 »	52,0 »
»	III: 90—113	2519 »	17,6 »
	Rückstand	938 »	6,5 »
	Verlust	664 »	4,6 »

Von der Hauptfraktion I. wurden drei Anteile von je 740 g, 980 g und 1042 g (zusammen 2762 g) mit derselben Perlenkolonne destilliert. Die Flüssigkeit fing bei 13° zu sieden an. Die folgende Tabelle enthält die Resultate:

Fraktion	Anteil 1			Anteil 2			Anteil 3		
	Gram	%	d_4^0	Gram	%	d_4^0	Gram	%	d_4^0
13—20°	181	24,5	0,6431	204	20,8	0,6431	212	20,3	0,6432
20—35°	75	10,1	—	104	10,6	—	109	10,5	—
35—40°	195	26,4	—	274	28,0	—	311	28,9	—
40—50°	95	12,8	—	97	9,9	—	103	9,9	—
50—60°	24	3,2	—	31	3,2	—	30	2,9	—
60—70°	46	6,2	—	55	5,6	—	58	5,5	—
70—76°	14	1,9	—	19	2,0	—	21	2,0	—
Rückstand.	65	8,8	—	96	10,6	—	89	8,5	—
Verlust. . .	45	6,1	—	100	9,3	—	109	11,5	—
Summa	740	100	—	980	100	—	1042	100	—

Diese Fraktionen wurden zusammen gegeben und von neuem fraktioniert:

N:r	Fraktion		Gewichtsmenge:		Prozente:		Dichte:
1.	13—20°		608 g	1473 g oder 53,3 % von 2762 g	22,0 %		$d_4^0 = 0,6452$
2.	20—30°		48 »		1,7 »		» $= 0,6618$
3.	30—35°	817 g = 5,7 % der ursprunglichen Menge	375 »		13,6 »	29,6 % von 2762 g	$d_4^{20} = 0,6755$
4.	35—40°		442 »		16,0 »		» $= 0,6857$
5.	40—50°		270 »		9,8 »		» $= 0,7041$
6.	50—60°		32 »		1,2 »		» $= 0,7044$
7.	60—70°		130 »		5,0 »		» $= 0,7048$
8.	70—76°		56 »		2,0 »		» $= 0,7527$
	Rückstand		108 »		3,2 »		—
	Verlust		48 »		1,6 »		—

Die Prozente sind auf die ursprünglich destillierte Menge bezogen. Es unterliegt keinem Zweifel, dass die obigen Fraktionen fast denselben Siedepunkt (und auch die Fraktion 30—35° dasselbe spez. Gewicht) haben wie die entsprechen-

den früheren (Kap. 4.) und folglich wahrscheinlich aus denselben Kohlenwasserstoffen wie dort angegeben bestehen. Dass Isopren vorhanden ist, liess sich sowohl mittels der von mir entdeckten, schon erwähnten Isopren-Reaktion [1]), wie auch in anderer Weise sicher feststellen.

a) *Die niedriger siedenden Produkte.*

I. Die Einwirkung von wasserfreiem Aluminiumchlorid.

Bei einer Reihe von qualitativen Reaktionen mit der Fraktion 13—20°, der engeren Isoprenfraktion 30—35° sowie den Fraktionen 50—60° und 60—70° ausgeführt, wiederholten sich die Kondensationserscheinungen, die in den zitierten Abhandlungen behandelt worden sind. Besonders die beiden niedrigeren Fraktionen reagierten schon mit minimalen Mengen des frisch gepulverten Reagenzes. Aber auch bei den beiden höheren, weniger leicht mit der bei 60—70° übergehenden, trat Reaktion unter Selbsterwärmung ein. Während die beiden ersten innerhalb Paar Minuten in das gelbe feste Kondensationsprodukt verwandelt wurden, blieb bei den höheren ein Teil der Substanz flüssig. Dieser Anteil schien aus darin enthaltenem Benzol bestehen.

Die festen Kondensationsprodukte jeder Probe sind teils löslich (*A*), teils unlöslich (*B*). Die relative Menge der beider Produkte, die nach meinen früheren Untersuchungen dieselbe prozentische Zusammensetzung besitzen, ist z. T. von der Art der Einwirkung abhängig. Lässt man die Einwirkung entweder durch Abkühlen des Reaktionsgemisches oder durch einen allmählichen Zusatz kleiner Mengen des Aluminiumchlorids langsam stattfinden, so steigt die Menge des *ätherlöslichen Anteils*, dessen konzentrierte ätherische Lösung sehr klebrig ist, etwa wie Mastixlösung, der aber

---

[1]) Öfversigt af Finska Vet.-Soc:s Förh., Bd. 58 A, *N:r 1*, S. 74; *N:r 2*, S. 6 ff. (1915).

von Äther befreit und mit Alkohol behandelt, völlig fest wenn auch etwas weich wird. Dagegen ist die Äther-unlösliche Substanz, die in Gegenwart von Äther weich ist, als trocken pulverig.

Auch hier bringt die Reaktion einen Beweis für die Gegenwart von Isopren und Isopren-artigen Produkten in den untersuchten Destillaten. In den um 35° siedenden Fraktionen ist aber, wie auch bei den entsprechenden in der Vorarbeit (Kap. 4) gezeigt wurde, der zitierten Publikationen nach ausserdem Amylen (Trimethyläthylen) vorhanden, dessen Gegenwart, wenigstens in kleiner Menge, für die Bildung der zugehörigen Kondensationsprodukte wesentlich ist. Ob die erwähnten höheren Fraktionen entsprechende Äthylenkohlenwasserstoffe enthalten, ist wahrscheinlich, obgleich der Nachweis derselben vorläufig für unsere Arbeit von nebensächlicher Bedeutung war.

II. Nachweis des Isoprens mittels des Dichlorhydrins.

Ausser durch die vorerwähnte Aluminiumchlorid-Reaktion gelingt, wenn ein mit Trimethyläthylen gemischtes Isopren vorliegt, dieser Nachweis am leichtesten mittels des Dichlorhydrins, $C_5H_8Cl_2(OH)_2$. Die Darstellung desselben, wozu gegebenenfalls auch eine relativ kleine Menge des Kohlenwasserstoffs genügt, wurde ausgeführt nach einem von mir früher [1]) beschriebenem Verfahren, wozu die erforderliche Lösung von unterchloriger in folgender Weise bereitet wurde:

500 g Chlorkalk wurden in einem Mörser mit Wasser zu einem dicken Brei verrieben, das nachher mit so viel konz. Sodalösung versetzt wurde, solange noch ein Karbonatniederschlag entstand. Zur besseren Beobachtung giebt man noch etwas Wasser hinzu. Dann wurde mit etwa ½ l Wasser verdünnt, und das Ganze ein Paar Stunden auf der Schüttelmaschine bearbeitet. Man filtriert und fällt noch, wenn nötig, mit etwas Soda, filtriert event. nochmals,

---

[1]) Öfversigt af Vet.-Soc:s Förh.; Bd. 58, Afd. A, N:o 1, S. 73 (1915—1916).

bestimmt die *NaOCl*-Menge titrimetrisch mit *Na*-Arsenit- und Jodlösung und berechnet daraus wieviel unterchlorige Säure man vorrätig hat pro ccm, wenn sie mit Borsäure frei gemacht wird.

Bei einem der unsrigen Versuche wurden 800 ccm Flüssigkeit angewandt, die der Analyse nach 23,3 g *HOCl* entsprechen. Wenn man pro 1 Mol Kohlenwasserstoff 3 Mole *HOCl* zur Anwendung bringt, in welchem Falle man die beste Ausbeute erhält, so lässt sich hieraus die Kohlenwasserstoffmenge auf 10 g berechnen.

Die *Na*-Hypochloritlösung wurde in einem enghalsigen Kolben mit Eis-Kochsalz bis auf — 5° vollständig gekühlt, und krystallisierte Borsäure zugegeben, bis die unterchlorige Säure freigemacht worden war. Darauf wurden 10 g Kohlenwasserstoff unter Umschütteln zugetröpfelt, nachher 1 Stunde an der Maschine geschüttelt und über Nacht stehen gelassen. Die filtrierte Flüssigkeit wurde mit Kochsalz gesättigt, dreimal mit absolutem Äther umgeschüttelt, und der Äther nach dem Trocknen mit Natriumsulfat verdampft.

Das rohe Chlorhydrin (13,42 g) wurde im Vakuum destilliert. Bei 10 mm Druck gingen bei 40—80° 6,26 g über, als Rückstand über 80° blieben 2,94 g. Die erste Fraktion wurde von neuem destilliert, wobei vor 46° einige Tropfen, bei 46—56° die grösstenteils bei 52—55° siedende Hauptfraktion (4,66 g) übergingen. Spez. Gewicht $d\,^{20}_{4} = 1,1060$; Brechungsvinkel bei 20° 45° 42′ 30″, woraus $n = 1,45437$. Hiernach wurde gefunden:

für $C_5H_8Cl(OH)$ $MR = 29,53$
» $C_5H_{10}Cl(OH)$ $MR = 31,68$

Für $C_5H_8Cl(OH)$ (mit Doppelbindung) berechnet sich [1]
$MR = 31,21$
» » (ohne Doppelbindung) berechnet sich
$MR = 29,48$
» $C_5H_{10}Cl(OH)$ berechnet sich $MR = 31,68$

Chlorbestimmung:

1) Fraktion 46—56°; 0,1816 g gaben 0,2193 g *AgCl*
2) » über 80°; 0,1798 g » 0,3053 g »

---

[1]) Nach *Eisenlohr*, Zeitschr. f. fysik. Chem. 75, 605 (1910).

Berechnet für $C_5H_8(ClOH)$: für $C_5H_{10}(ClOH)$: für $C_5H_8(ClOH)_2$:
Cl 29,44 % 28,96 % 41,01 %
Gefunden 1) $Cl = 29,86$ % ; 2) 41,98 %.

Hieraus ist ersichtlich, dass das bei 10 mm über 80° siedende Öl fast vollständig nach der Formel $C_5H_8(ClOH)_2$ zusammengesetzt ist und folglich Isopren-dichlorhydridarstellt, wogegen die Analyse der Fraktion 46—56° am besten mit einem Monochlorhydrin desselben Kohlenwasserstoffs übereinstimmt. Zieht man aber die Molrefraktion in Betracht, so findet man, dass der berechnete Wert 29,48 für diese Konstante nur dann mit dem gefundenen 29,53, und zwar ziemlich genau zusammenfällt, wenn eine *gesättigte* Verbindung C_5H_{10}(ClOH) vorliegen würde.

Mokiewsky[1]), der die Anlagerung von unterchloriger Säure auf technisches Isopren, nach Tilden aus Terpentinöldämpfen durch Erhitzen dargestellt und aus etwa gleichen Teilen Isopren und Trimethyläthylen bestehend, hat als Reaktionsprodukte nur das Monochlorhydrin des letztgenannten, $C_5H_{10}Cl(OH)$, und ein Gemenge von Dichlorhydrinen $C_5H_8(ClOH)_2$ des Isoprens erhalten. Irgend ein Monochlorhydrin des Isoprens, $C_5H_8Cl(OH)$, hat er nicht beobachtet. Das aber ein solches Derivat des Isoprens, oder vielleicht gar mehrere Isomere von dieser Zusammensetzung, faktisch sowohl existenstenzfähig wie auch leicht darstellbar sein muss, ist ebenso glaublich, wie der Nachweis Mokiewskys, dass das Isopren Brom in zwei ziemlich scharf getrennten Reaktionsgängen zu $C_5H_8Br_2$ und $C_5H_8Br_4$ aufnimmt. Dass Mokiewsky nur Trimethyläthylenchlorhydrin sowie ein Gemenge von Dichlorhydrinen gewann, könnte vielleicht auf eine andere Arbeitsweise als die meinige sowie auf einem viel grösseren Gehalt an dem Amylen in seinem Rohmaterial beruhen. Allerdings ist es nicht recht ersichtlich, warum die Molrefraktion, wie oben angegeben, nicht das Vorhandensein einer Doppelbindung zeigt; mög-

[1]) Journ. russ. fys.-chem. Ges. **30**, 885 (1898); Chem. Centralbl. **1899** I, 589.

licherweise könnte dies auf strukturelle Anomalien beruhen. Immerhin deutet meine Analysen (vergl. auch unten) entschieden auf die Formel eines Isoprenmonochlorhydrins. Auch das spez. Gewicht $d\,^{20}_{0} = 1{,}106$ der unter 10 mm bei 52—55° siedenden Verbindung zeigt die Nichtidentität mit dem Monohydrochlorid des Trimethyläthylens mit $d\,^{0}_{0} = 1{,}0562$ bezw. $d\,^{22}_{22} = 1{,}0355$ ganz deutlich. Ich muss also als möglich hinstellen, dass ein *Monochlorhydrin des Isoprens* in der einen von mir dargestellten Verbindung vorliegt.

Bei erneuter Darstellung des Körpers in der obigen Weise wurden folgende Fraktionen bei 10 mm Druck aufgenommen und analysiert:

Siedepunkt	Analysierte Menge	*AgCl*	*Cl* in %
48—56°	0,1486 g	0,1788 g	29,75
56—63°	0,2173 »	0,2960 »	33,68
63—100°	0,2395 »	0,3833 »	39,57

Hieraus ist ersichtlich, dass die über 56° übergehenden Fraktionen wahrscheinlich keine andere Monochlorhydrine, sondern höher siedendes Dichlorhydrin in zunehmender Menge enthalten.

Von der ersten Fraktion 48—56° der Chlorhydrine wurden noch folgende Analysen, von denen II. und III. mit nochmals umfraktioniertem Material, gemacht:

	Substanzmenge	*AgCl*	*Cl* in %
I.	0,2472	0,2988 g	29,88
II.	0,1708	0,2065 »	29,89
III.	0,2110	0,2556 »	29,95

Das Mittel sämtlicher fünf Analysen des Monochlorhydrins vom Isopren, ist 29,86 %, gegen 29,44 % als berechnet. Ein Chlorhydrin $C_5H_8Cl(OH)$, des Trimethyläthylens, $C_5H_{10}Cl(OH)$, mit dem Gehalt 28,96 % Cl, liegt somit nicht vor.

Isoprendichlorhydrin, $C_5H_8[Cl(OH)]_2$. Nach dem Abdestillieren des Monochlorhydrins wurde, wie oben angegeben, ein unter 10 mm oberhalb 80° siedendes dickes Öl erhalten, dessen Analyse zeigte, dass sie die obige Zusammensetzung des Isoprendichlorhydrins hatte, und daher wohl aus einem Gemenge isomerer (stereoisomerer?) Verbindungen von der Formel $C_5H_8Cl_2(OH)_2$ bestand. Eine derartige Verbindung ist früher [1]) von zwei anderen Forschern in fester Form erhalten sowie für das Isopren als charakteristisch gefunden worden. In der Tat traten nach einiger Zeit Krystalle in der trägflüssigen Masse auf. Um es schneller zu isolieren, bediente ich mir eines Kunstgriffs, das auf *die beträchtliche Löslichkeit* (schätzungsweise ungefär wie die der Oxalsäure) *des Körpers im Wasser* beruhte. Beim allmählichen Verdampfen der Lösung bei gewöhnlicher Wärme krystallisiert das Dichlorhydrin wieder in schönen, glänzenden Nadeln aus. Das oben genannte, oberhalb 80° bei 10 mm siedende Öl wurde zu dem Zweck mit etwa 5—6 Tln Wasser auf dem Wasserbade digeriert, wobei die Monochlorhydrine fast vollständig ungelöst blieben. Die abdekantierte Lösung wurde durch ein Filterchen von den letzten Öltropfen befreit. Der beim Abdampfen im Abzuge erhaltene Krystallmasse wurde schliesslich aus wenig warmem Benzol unter Zusatz von Petroläther umkrystallisiert. Die Krystalle schmolzen bei 81°. Die Analyse ergab:

0,1000 g gaben 0,166 g *AgCl*, entsprechend $Cl = 40{,}99\,\%$.
Berechnet 41,01 %.

Das Dichlorhydrin ist in den meisten organischen Solventien leicht, am wenigsten in Petroläther löslich und krystallisiert aus sämtlichen ausgezeichnet.

Damit war die Gegenwart von Isopren in dem untersuchten Kondensat aus Ölgas vom Solaröl auch in dieser Weise sicher nachgewiesen.

---

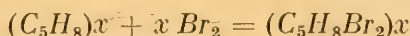
[1]) Ipatiew, Journ, prakt. Chem. (2) 55, 61 (1897) mit dem Schmp. 81—82°; Mokiewsky, Chem. Centralbl. 1899 I, 589 mit dem Schmp. 82,5°; Aschan, Öfversigt af Finska Vet.-Soc:s Förh. Bd. 58 A, N:o 1 S. 72 (1915—1916) vom Schmp. 82—82,5°.

III. Nachweis des Isoprens durch Kautschukbildung.

Nach den obigen Versuchen war die Bildung von Kautschuk aus dem bei etwa 32—37 siedenden Teil, die aus den ursprünglichen Fraktionen 30—35° bezw. 35—40° herausdestilliert wurden, zu erwarten, was sich auch sowohl durch Kondensation in der Wärme für sich, wie auch in Gegenwart von metallischem Natrium als durchführbar zeigte.

Versuch 1. 22 g der Fraktion 32—37° wurden für sich 10 Tage lang zuerst in siedendem Wasserbade, dann 1 Tag bei 115° im Schiessofen erhitzt. Das Rohr öffnete sich ohne Druck. Aus der Flüssigkeit liess sich der grösste Teil wieder vor 40° entfernen. Der zähe, feste Rückstand vog 1,45 g, folglich hatten sich etwa 6,6 % kondensiert. Er zeigte den bei den Isoprenpolymerisationen gewöhnlich auftretenden, eigentümlichen Geruch nach Enantol bezw. Nonylalkohol. Zur Reinigung wurde die Masse mit Alkohol ausgekocht. Der erhaltene Rohkautschuk löste sich grösstenteils beim Kochen in Benzol sowie in siedenden Äther. Daraus wurde er wieder mit Alkohol als weisse klebrige Masse ausgefällt.

Um nachzuweisen, dass Kautschuk vorliegt, wurde ein Teil der Masse unter Kochen in Chloroform gelöst, und zur Bereitung des *Tetrabromids* nach Harries[1]) mit einer Menge von in Chloroform aufgelöstem Brom versetzt, die der Gleichung



$$(C_5H_8)x + x\,Br_2 = (C_5H_8Br_2)x$$

entspricht. Nach Ausfällen und Waschen mit Alkohol ergab die in Wakuum zur Gewichtskonstanz getrocknete, gelblich weisse Substanz bei der Brombestimmung folgende Zahlen:

0,1038 g gaben 0,1640 g $AgBr$: $Br = 67{,}23$ %; berechnet 70,18 %.

[1]) Ann. **383**, 197 (1913).

Wie früher, wurde auch hier nicht die volle Brommenge wiedergefunden, was auch fast immer mit dem Kautschuk der Fall ist [1]).

Versuch 2. 18 g derselben Fraktion wurden mit 1 g *Na*-draht, wie oben, zunächst 10 Tage im Wasserbade und dann 24 Stunden bei 115° erhitzt. 16 g wurden bei der Destillation unterhalb 40° zurückgewonnen, während 1,35 g oder 7,5 % als Kautschukartige Masse zurückblieben. Auch hier war der oben erwähnte Geruch des gewöhnlichen Nebenproduktes bemerkbar. Der gebildete Natriumkautschuk kam auch diesmal in einer ätherlöslichen *A*-Modifikation und einer ätherunlöslichen *B*-Modifikation vor, wie ich früher gefunden hatte [2]). Die mit kochendem Benzol behandelte und filtrierte Lösung wurde wie im Vers. 1. gereinigt und in das Tetrabromid verwandelt. Analyse:

0,1382 g gaben 0,2143 g $AgBr$: Br = 65,98; ber. 70,18 %

Wie im vorigen Versuche und überhaupt, wurde auch hier ein kleinerer Bromgehalt gefunden. Es bleibt doch kein Zweifel darüber, dass künstlicher Kautschuk in verschiedenen Modifikationen vorliegt, übrig.

Bemerkung: Als der nicht verbrauchte Teil der Fraktion 32—37° über ein Jahr im Eisschrank gestanden hatte, war am Boden der Flasche einige Gramme eines gelblichen dicken Syrups von einem eigentümlichen peroxydartigen Geruch ausgeschieden, der im Alkohol unlöslich und zwischen den Fingern sehr klebrig war. Die abgetrennte Schicht vom Kohlenwasserstoff (etwa 200 g) liess, als er bei 32—37° wieder überging, nicht weniger als 11 g eines surypösen Öls, das leichter flüssig als der obige, unlösliche Teil war aber denselben Geruch hatte. Ein erheblicher Teil einer Probe löste sich in Alkohol, das unlösliche stellte offenbar einen unreinen Kautschuk dar. Die beiden Syrupe zeigten sich *beim Erhitzen*

---

[1]) Harries giebt a. a. O. an, dass »die Zusammensetzung des isolierten Tetrabromids schwankt ständig» von 60,75 bis 66,42 % bei künstlichem, 55,98 bis 68,16 % bei natürlichem Kautschuk.

[2]) Öfversigt af Finska Vet.-Soc:s Förh. 58, A N:o 1, S. 79 ff. (1915—1916).

stark explosiv, was die Beimengung peroxydartiger Stoffe bestätigte. Dies sei zur Verhütung von künftigen Unglücksfällen hier mitgeteilt. M o k i e w s k y [1]) giebt an, dass beim Destillieren von amylenhaltigem, aus Terpentinöl nach T i l d e n dargestelltem Isopren, die Rückstände heftig explodieren, eine Erscheinung, die offenbar mit der obigen Beobachtung übereinstimmt.

Anhangsweise sei erwähnt, dass sowohl die bei 13—20° siedende erste Fraktion des obigen Kondensates, die wohl, neben Isopren und anderen Kohlenwasserstoffen, auch etwas B u t a d i e n enthält, wie auch der bei 60—70° übergehende Anteil, worin *Methylisopren* (2,3-Dimethylbutadien) vorhanden sein könnte, nicht nur mit Aluminiumchlorid reagierten (s. o.) sondern sich auch beim Erhitzen mit Natrium während einigen Tagen auf 100—115° zu Kautschuk-ähnlichen Produkten kondensierten, die jedoch auch viel harzartiger Körper enthielten. Das Kondensationsprodukt aus der Fraktion 60—70° war wenig elastisch, wogegen diese Eigenschaft dem aus der Fraktion 13—20° in höherem Grade eigen war.

Der letztere Körper wurde durch Umfällen seiner Lösungen in Benzol, Äther bezw. Chloroform gereinigt und in der obigen Weise auf dem Tetrabromid bearbeitet. Die etwas dunkler gefärbte Substanz wurde analysiert:

0,1722 g gaben 0,2911 g *AgBr*: *Br* = 71,93 %; ber. 70,18 %.

Der ungewöhnlich hohe, sogar dem berechneten Wert übersteigende Bromgehalt lässt sich nur darauf zurückführen, dass etwas Butadien-Kautschuk in diesem Falle dem Kondensationsprodukt beigemengt war.

II. Die höher siedenden Produkte.

1. Nachweis von Benzol. Von der 52 % betragenden Hauptfraktion II. des vorliegenden Öles wurden 200 g mit-

[1]) Chem. Centralbl. 1899 I. 589.

tels konz. Schwefelsäure, wie oben im Kap. 4. angegeben, von ungesättigten Kohlenwasserstoffen befreit. Dabei resultierten nach dem Waschen und Trocknen 122 g, weshalb von dieser Probe etwa 40 % verharzt worden waren. An Schwefelsäure verbrauchten die ursprünglichen 200 g etwa 60 g, bis die Probe beim Umschütteln farblos bezw. nur schwach gelblich blieb. 115 g wurden destilliert; es gingen über

bei 70—80°	23 g	oder	20,0 %
» 80—84°	88 »	»	76,5 »
Rückstand	3 »	»	2,6 »
Verlust	1 »	»	0,9 »

Von der Fraktion 70—80° sott, als sie von neuem destilliert wurde:

bei 72—78°	5 g	$d\,^{20}_{4} = 0{,}8029$
» 78—81°	16 »	» $= 0{,}8507$

Die Fraktion 80—84° destillierte bei erneutem Fraktionieren zu einer Menge von 76 g fast konstant bei 80,4° und zeigte das spez. Gewicht $d\,^{20}_{4} = 0{,}8680$. Zusammen wurden also 92 g (= 46,0 % der ursprünglichen Hauptfraktion II) Benzol erhalten, das also in bedeutender Menge vorhanden war. Da reines Benzol die Dichte $d_{20} = 0{,}8799$ zeigt, so ersieht man, dass der erhaltene Kohlenwasserstoff wieder gewisse Mengen eines anderen Kohlenwasserstoffs und zwar entweder eines Paraffins oder eines Cykloparaffins enthält, da die Fraktion gegen soda-alkalischer Permanganatlösung unempfindlich war.

Bei der Einwirkung von konz. Salpetersäure entstand Nitrobenzol, woraus mit Zinn und Salzsäure Anilin bereitet wurde, beide in vorzüglicher Ausbeute.

2. *Nachweis des Toluols.* Aus 56 g der Hauptfraktion III., die unter Kühlung allmählich mit etwa 10 g konz. Schwefelsäure behandelt worden waren, wurden 45 g zurückerhalten. Bei der Destillation gingen folgende Mengen über:

Bei	105—108°	5,2 g	
»	108—113°	31,0 »	$d\,^{20}_{4} = 0{,}8513$
	Rückstand	5,0 »	
	Verlust	2,8 »	

Die Fraktion 108—113° stellt also 55,4 % oder rund 50 % der ganzen Hauptfraktion III. dar.

Da reines Toluol bei 111° übergeht und das spez. Gewicht $d\,^{13,1}_{4} = 0{,}8708$ zeigt, so geht hieraus hervor, dass auch die Toluolfraktion mit einem gesättigten Kohlenwasserstoff, der in kleiner Menge vorhanden ist, verunreinigt sein muss; die Hauptfraktion war nämlich Permanganatbeständig. Die Fraktion 110—113° wurde von Neuem über Natrium destilliert und wie früher aufgehoben. Das Destillat zeigte die Dichte $d\,^{20}_{4} = 0{,}8509$. Zwei Analysen ergaben:

0,3030 g gaben 1,0089 g CO_2 und 0,2575 g H_2O;
0,2878 » » 0,9586 » » » 0,2425 » »

	Berechnet für C_7H_8	Gefunden	
C	91,21 %	90,82 %	90,84 %
H	8,79 »	9,44 »	9,36 »

Hieraus bestätigt sich der obige Befund über einen das Toluol begleitenden, gesättigten Kohlenwasserstoff, der wasserstoff-reicher ist.

Das Toluol in der Tat vorhanden ist, wurde wieder durch die Nitrierung festgestellt. 25 g des obigen Produktes wurden unter guter Kühlung in die 4-fache Menge konz. gelber Salpetersäure (1,50) eingetragen und nach der Auflösung auf Eis gegossen. Die gereinigte Nitroverbindung liess sich durch Fraktionieren in die bis 222° übergehende *o*-Nitroverbindung und die über 227° siedende *p*-Nitroverbindung trennen. Diese wurden in die entsprechenden Toluidine verwandelt, deren *Acettoluide*, $CH_3 . C_6H_4 . NH . CO . CH_3$, bei 106—107° *(ortho-)* bezw. 145—146° (para-) schmolzen.

Wird der kleine Rückstand der Toluolfraktion destilliert, so gehen noch höhere Benzolkohlenwasserstoffe, jedoch nicht

höher siedende als die Xylole, über. Praktisch sind diese wegen der geringen Menge ohne Bedeutung.

7. Kondensate vom einheimischen, aus russischen Masut erzeugten Ölgas.

Als ich demnächst erfahren hatte, dass auch die finländischen Eisenbahnwagen zum Teil mit komprimiertem Ölgas beleuchtet werden, wandte ich mich an die Eisenbahnverwaltung mit der Bitte um nähere Auskunft über die Darstellungsweise des Gases, das Rohmaterial, die Ausbeute und darüber, ob man Kondensate, sowie in welcher Menge, beobachtet hatte. Hierüber erhielt in zuvorkommendster Weise von Herrn Maschinendirektor P. Simberg die nötigen Informationen sowie etwa 1 kg Kondensat aus dem Gase. Ihm verdanke ich nicht nur die Mitteilung, dass als Rohmaterial während des Jahres 1916, dem die Informationen betrafen, Masut angewandt worden war, sondern auch über die im folgenden mitgeteilten Ausbeuteziffern und eine Zeichnung über die diesbezügliche Gasanstalt in Åbo. Für diese Zuvorkommenheit möchte ich Herrn Direktor Simberg auch an dieser Stelle bestens danken.

Hier folgen zunächst die mitgeteilten Angaben.

Die Vergasung in den Retorten fand bei einer Temperatur von 800 bis 1000°, also nach dem, was wir über die Ölgasbereitung wissen, bei relativ starker Erhitzung statt. Während des Jahres 1916 war die Ausbeute die folgende: *6,3* % Kohlenwasserstoffe (Kondensate aus dem Gase), etwa *3,7* % Teer sowie *5,9 bis 6,0* % Wasser. Aus 200,000 kg Gasöl, die 1916 gebraucht waren, war die Ausbeute 92550 kbm Gase (ob feucht sowie bei welcher Temperatur gemessen, konnte nicht ermittelt werden), 7500 kg Teer, 12750 kg flüssige Kohlenwasserstoffe. Der Druck in den beiden Behältern für die Aufbewahrung des Gases, worin die Kohlenwasserstoffe kondensiert worden waren, hatte 10—12 Atm. betragen. Daraus wird das Gas auf Cisternwagen gepumpt, in denen der Druck bis auf 12 Atm. steigt.

Aus 1 kg Gasöl (Masut) waren nach Obigen 463 l Gas, 63,7 g Kondensat und 37,5 g Teer gebildet. Dies entspricht, auf 1 russisches Pud (= 16,5 kg) umgerechnet, 7639,5 l Gas, 1056 g Kondensat und 619 g Teer.

Das 1008 g betragende Kondensat, das ein liquides, leicht flüchtiges, eigentümlich moderartig riechendes Öl darstellte, welches den oben untersuchten ähnlichen Produkten durchaus ähnlich war, ergab bei zwei Fraktionierungen mittels einem 1-meter langen Fagerlind'schen Perlenkolonne folgende Zahlen (Beginn des Siedens erstes Mal bei 28°, zweites bei 20°):

Siedepunkt	Erste Fraktionierung			Zweite Fraktionierung		
	gr	%	Spez. Gewicht	gr	% (ber. auf 1008 g)	Spez. Gewicht
20—28°	—	—	—	41	4,1	$d_4^0 = 0{,}6743$
29—35°	24,2	2,4	$d_4^0 = 0{,}6979$	24	2,4	» = 0,6898
35—40°	105,2	10,4	« = 0,6996	35	3,5	» = 0,7095
40—50°	13,0	1,3	$d_4^{20} = 0{,}7008$	38	3,8	$d_4^{20} = 0{,}7077$
50—60°	25,0	2,5	» = 0,7382	26	2,6	» = 0,7202
60—70°	89,0	8,8	» = 0,7713	26	2,6	» = 0,7432
70—80°	246,0	24,4	» = 0,8226	225	22,3	» = 0,8291
80—85°	159,0	15,8	» = 0,8486	249	24,7	» = 0,8503
85—95°	51,0	5,1	» = 0,8384	14	1,4	» = 0,8316
95—105°	20.0	2,0	» = 0,8309	20	2,0	» = 0,8260
105—110°	88,0	8,7	» = 0,8354	75	7,5	» = 0,8470
110—113°	21,0	2,1	» = 0,8361	48	4,8	» = 0,8497
Rückstand .	70,8	7,0	—	20	2,0	—
Verlust . . .	96,0	9,5	—	9	0,9	—
Summe	1008,0	100,0		850	94,6	

Wie zu erwarten — ich verweise hierbei auf die Angaben in den Kapiteln 3. und 5. — war wegen der hohen Vergasungstemperatur (800—1000°) wenig Teer und relativ wenig schwere Kohlenwasserstoffe entstanden, die oben als *CmHn* bezeichnet wurden. Daher ist das Optimum für die Bildung des Isoprens bezw. dessen Homologe überschritten, folg-

lich relativ wenig von dem uns interessierenden Isopren gebildet worden. Die Ausbeute an Benzol und Toluol ist dagegen relativ reichlich.

Verteilt man, wie bei der ersten Destillation in den vorigen Fällen (S. 23 u. 35), die Produkte derselben auf drei Hauptfraktionen, so gelangt man zu folgenden Zahlen:

		Siedepunkt:	g:	%:
Hauptfraktion	I.	bis 70°	256,2	25,4
»	II.	70—95°	456,0	45,2
»	III.	95—113°	129,0	12,8
Rückstand		über 113°	70,8	7,0
Verlust			96,0	9,5

Um einen besseren Überblick zu erhalten, stelle ich die Prozentzahlen für sämtliche Hauptfraktionen, die von mir untersucht worden, hier zusammen:

Kondensate	Rohmaterial	Hauptfraktion I:	Hauptfraktion II:	Hauptfraktion III:
1. Von mir erhalten (Kap. 4)	Masut	22,0 %	65,0 %	12,0 %
2. Aus einer russischen Ölgas-Anstalt (Kap. 6)	Masut	19,3 »	52,0 »	17,6 »
3. Aus der Ölgas-Anstalt in Åbo (Kap. 7)	Masut	25,4 »	45,2 »	12,8 »

Sieht man einerseits in Betracht, dass die unter *1.* angegebenen, von mir mit dem S. 22 erwähnten primitiven Apparat erhaltenen Resultate nicht *quantitativ* genau sein können, und andererseits, dass die unter *2.* und *3.* angeführten wahrscheinlich mit verschiedenen Fundörtern stammendem Rohmaterial ausgeführt waren, so ist eine gewisse Übereinstimmung in den drei Reihen jedoch nicht zu verkennen. Diese Erfahrung wirkt ermutigend, wenn es sich um die Möglichkeit handelt, gewisse Schlüsse aus den Resultaten der vorliegenden Untersuchung zu ziehen.

Vom erheblichen Interesse war nun der Nachweis, dass auch in der aus dem Ölgase von der Fabrik in Åbo erhaltenen kondensierten Flüssigkeit dieselben technisch wichtigen Stoffe: Isopren, Benzol und Toluol, vorhanden waren. Wegen der in diesem Falle viel höheren Destillationstemperatur bei der Gasbereitung war indes, wir gesagt, der Gehalt an Isopren weit kleiner als in den vorigen Fällen (S. 23 u. 35), was auch in Anbetracht unserer Erfahrungen über die destruktive Destillation zu erwarten war.

Der Nachweis des Isoprens wurde in ähnlicher Art wie vorher geführt. Erstens wurden die Fraktionen 20 bis 28°, 28 bis 35° und 35 bis 40° mit einigen *cg* wasserfreiem Aluminiumchlorid geprüft, wobei die Bildung des in Äther löslichen bezw. unlöslichen Kondensationsproduktes unter Selbsterwärmung und spontanes Aufkochen erfolgte. Die Eigenschaften waren dieselben wie im vorigen Falle. Ein Gemenge von Isopren und Amylen lag also in den geprüften Fraktionen vor. Ferner wurde versucht, die Fraktionen 28—35 bezw. 35—40° mittels Natriumdraht in der früher (S. 43) beschreibenen Weise zum Natriumkautschuk zu kondensieren. Der Versuch gelang gleichfalls. Es bildeten sich wieder, ausser den an Oenanthol riechenden Kondensationsprodukten, sowohl der lösliche wie der unlösliche Natriumkautschuk.

Nachweis von Benzol und Toluol. Es wurden einerseits die Fraktionen 70—80° (18 g) bezw. 80—85° (20 g), andererseits die Fraktionen 105—110° (20 g) und 110—113° (14 g) zusammengemischt und die Flüssigkeiten wiederholt mit kleinen Mengen konz. Schwefelsäure, zur Verharzung der ungesättigten Kohlenwasserstoffe behandelt. Im ersten Falle wurde aus dem nicht kondensierten Rest (28 g) eine bei 79—82° siedende Hauptfraktion (konstanter Siedep. bei 80—81°) vom spec. Gewicht $d\ ^{20}_{4} = 0{,}8779$ erhalten, die beim Nitrieren mit Salpetersäure (d = 1,50) Nitrobenzol lieferte, woraus mit Zinn und Salzsäure Anilin erhalten wurde. — Im zweiten Falle genügte ich mich, wegen des schon mehrmals geführten ähnlichen Nachweises, zu konstatieren, dass die Hauptfraktion des mit konz. Schwefelsäure behandelten

Gemenges der zwischen 105 und 113° siedenden Fraktionen bei 109—110° sott, den leicht erkenntlichen Toluolgeruch sowie das spec. Gewicht von 0,8586 zeigte.

Sowohl das Benzol wie das Toluol waren wieder mit kleinen Mengen eines gesättigten, wasserstoffreicheren Kohlenwasserstoffs (vergl. S. 25 u. 46) vermengt. Durch die fraktionierte Destillation sowie die übrigen Daten war also festgestellt worden, dass das aus dem Ölgas vom Åbo gewonnene Kondensat mit den flüssigen Abscheidungen vom Ölgas anderen Ursprungs ähnlich zusammengesetzt war.

8. Einige Angaben über den relativen Handelswert des russischen Erdöls und der daraus erhältlichen technischen Produkte.

Bevor ich zu einem Versuch übergehe, einen Bild über die, im Vergleich mit der jetzt üblichen, technisch und wirtschaftlich vorteilhafteste Verwertung des Erdöls bezw. des Masuts zu geben, müssen vergleichbare Angaben für die im obigen Titel erwähnte Wertschätzung der Handelsprodukte geliefert werden. Auch hierin verdanke ich meinem Freunde, Ingenieur Otto Segercrantz, die zugehörigen Daten. Diese beziehen sich auf die Preislage im Jahre 1913, dem letzten *Normaljahr* vor dem Kriege. Die Angaben über die verschiedenen Produkte, bezüglich deren Art ich auf die Zusammenstellung S. 3 ff hinweise, sind mit einander vergleichbar, da sie, als der daselbst angegebene Preis für das Pud Rohnafta 35 Kop. betrug, gleichzeitig als engros-Preise in einer russische Weltfabrik der Petroleumbranche gültig waren:

Ware:	*Preis pro Pud:*
Rohe Naphta	**35 Kop.**
Brenn-Petroleum	40 »
Benzin N:o 2	80 »
Solaröl	80 »

	Ware:	*Preis pro Pud:*
	Spindelöl	1 Rub. — Kop.
	Maschinenöl	1 » 05 »
	Cylinderöl	1 » 80 »
aus dem Goudron	Höhere (Viscosin-) Öle	2 bis 3 Rub.
aus dem Goudron	Nigrole (unreine)	1 Rub. — Kop.
	Goudron	— 75 »
	Masut	**35—40 Kop.**

Es dürfte ohne Weiteres verständlich sein, dass die angegebenen Werte Verkaufspreise der betreffenden Firma darstellten und demnach nur den *relativen* Handelswert darstellten, sowie dass wir nur *Vergleichszahlen* festzustellen angestrebt waren, die wohl diesen Charakter auch nach dem Kriege beibehalten werden.

Wenn wir nun die eingangs (S. 3 ff.) mitgeteilten Angaben über die prozentische Ausbeute der verschiedenen Produkte in Betracht ziehen, so bekommt man folgende Werte für die betreffenden Waren, wenn wir statt Pud in Tonnen (à 1000 kg) rechnen:

Ein Pud Rohnafta hatte, wie erwähnt, den Preis von 35 Kop. Der Wert des Rubels in finn. Mark (1 Fmk = 1 Frcs) betrug vor dem Kriege 2: 60 Fmk. Das Pud der Rohnafta kostete daher 0: 91 Fmk. Hieraus berechnet sich der Preis für

1 Tonne Rohnafta auf Fmk 55: 15.

Jetzt gelangen wir zu dem Wert der aus der Rohnafta gewonnenen Produkte. Aus einer Tonne von jenem (aus *Balachany*) erhält man:

				Fmk
4 % *Benzine,*	also 40 kg	[à 80 kop.	(= 2: 08 Fmk) pro Pud] . .	5: 04
33 » *Petroleum,*	» 330 »	[à 40 »	(= 1: 04 ») » »] . .	20: 80
62 » *Masut,*	» 620 »	[à 40 »	(= 1: 04 ») » »] . .	39: 06
			Summe	64: 90

Also, durch Abdestillieren des Benzins und Petroleums sowie die Reinigung dieser Produkte erhöht sich der Wert für 1 Tonne der Rohnafta von Fmk 55: 15 auf Fmk 64: 90.

Nehmen wir noch die Produkte mit, die durch die weitere Bearbeitung (Veredelung) des Masuts gewonnen werden, so gelangt man zur folgenden, vollständigeren Zusammenstellung:

						Fmk	Fmk
	4,00 %	*Benzine,*	also 40 kg	[à 80 kop.	(2: 08 Fmk) pro Pud]	5: 04[1])	
	33,00 »	*Petroleum,*	» 330 »	[à 40 »	(1: 04 ») » »]	20: 80	25: 84
aus dem Masut	16,60 »	*Solaröl,*	» 186 »	[à 80 »	(2: 08 ») » »]	23: 44	
	4,65 »	*Spindelöl*	» 46,5 »	[à 1 Rub.	(2: 60 ») » »]	7: 29	
	14,88 »	*Maschinenöl*	» 148,8 »	[à 1: 08 »	(2: 73 ») » »]	24: 62	
	0,93 »	*Cylinderöl*	» 9,3 »	[à 1: 80 »	(4: 68 ») » »]	2: 62	
	21,70 »	*Goudron*	» 217,0 »	[à —: 75 »	(1: 95 ») » »]	25: 64	83: 61
	95,76 %				Summe	109: 45	109: 45
	4,24 »	Verlust					
	100,00 %						

Die Zusammenstellung zeigt, dass *bei einem engros-Preis von rund 55 Fmk pro Tonne Rohnafta, sämtliche daraus erhältlichen Produkte* **den doppelten Handelswert** *von rund 110 Fmk erlangen.* Von speziellem Interesse für unserem Zweck ist die Tatsache, dass wenn der Wert von 620 kg Masut, wenn dies nicht weiter bearbeitet wird, rund 39 Fmk beträgt, so steigt er bei Bearbeitung auf daraus darstellbaren, technisch wertvollen Produkten (Solaröl, Spindelöl usw.) auf 83 Fmk. Der dabei allein auf die Veredelung des Masuts beziehende Wertsteigerung beträgt demnach 83—39 = 44 Fmk. Dieser auf 620 kg Masut fallende Wert, der foglich pr Tonne rund 71 Fmk beträgt, muss also wenigstens erzielt werden, wenn man dieses Material ebenso vorteilhaft in anderer Weise verwerten will.

Nehmen wir zunächst die *Verbrennung* desselben in Bebetracht. Die Verbrennungswärme für 1 kg Rohnafta beträgt nach zugänglichen Angaben 10000 bis 11000 Wärmeeinheiten. Etwa dieselbe, oder eine wegen des höheren relativen Kohlenstoffgehaltes wenigstens nicht kleinere muss dem Masut zukommen. Nehmen wir der Sicherkeit wegen

[1]) Sämtliche Preise unter dieser Rubrik sind Fabrikpreise. Die Minutpreise im Handel sind erheblich höher.

den niedrigeren Grenzwert von 10000 Kal für das kg an, so erhält man also aus 1 Tonne Masut 10 Millionen Kal. Da 620 kg Masut 39: 06 Fmk kosteten, so beträgt der Preis für 1 Tonne 62: 90 Fmk und der für die daraus erhältlichen 10 Milj. Kalorien also ebensoviel. Wenn man zum Vergleich den Preis 25 Fmk für die Tonne gute Steinkohle bei uns im Jahre 1913, also unserem Vergleichsjahr vor dem Kriege, in Betracht zieht, sowie das der Wärmewert derartiger Kohle nur 7000 Kal. pro kg beträgt, so kosten 10 Milj. Kal., wenn sie aus Steinkohlen erzeugt werden, erheblich weniger, nämlich nur 35: 71 Fmk. Da die Wärmeerzeugung für das Masut, beim Verkaufen desselben, bei der Preisbestimmung ein entscheidendes Moment sein muss, so beruht wohl der viel höhere Verkaufspreis von Fmk 62: 90 auf andere Ursachen, die nicht leicht festzustellen sind. Eine solche, wenn auch nicht die einzige, liegt wohl in der viel billigeren, spreuartigen automatischen Art der Heizung, möglicher Weise auch darin, dass die Steinkohle im Sydrussland im Jahre 1913 verhältnismässig teurer als bei uns gewesen ist. Dazu kommt noch, dass Masut wegen seines grösseren Energieeinhaltes und der flüssigen Form weniger Tonnage in Anspruch nimmt in den zu beheizenden Fahrzeugen, Lokomotiven usw., sowie sich leichter transportieren und umladen lässt.

Wie dem auch sei, so ergiebt sich aus unserer obigen Tabelle, dass es ekonomisch vorteilhafter ist, das Masut auf die angegebenen mehrwertigen und z. T. viel teuereren Rektifikate zu verarbeiten als den Stoff zu verbrennen. *Dadurch würde sich nämlich der Preis des Masuts pro Tonne von Fmk 62: 90 auf Fmk 134: 84, also auf mehr als den doppelten Betrag, erhöhen.*

9. Die Wertschätzung des Masuts als Rohmaterial für Ölgas.

Wir gelangen nunmehr zu der uns interessierenden Hauptfrage: *Zu welchem Preise lässt sich das Masut als Rohmaterial für Brenn- bezw. Leuchtgas bewerten?* Diese Frage hat aktuelles Interesse aus dem Grunde, dass, wie schon angedeutet,

die ganze Menge des erzeugten Masuts unmöglich zur technischen Darstellung der hochwertigeren Handelsprodukte, wie Spindelöl, Cylinderöl usw., die im obigen Kapitel verzeichnet sind, verbraucht werden kann. Zur Deckung des Weltbedarf an diesen Produkten reicht, wie mir aus sachkündiger Seite mitgeteilt worden, schon der zehnte Teil des Masuts aus. Bei Verarbeitung grösserer Mengen würde eine Überproduktion eintreten, die Preise gedrückt und die Fabrikationsmöglichkeit in Frage gestellt.

Bei einem Versuch, die oben angeführte Frage zu beantworten, begegnet man ziemlich grosse Schwierigkeiten. Es mangelt an übereinstimmende, allgemein gültige und völlig zuverlässliche Zahlen einerseits über die Gasausbeute, andererseits, und vor Allem darüber, welchen Preis man für das Gas berechnen soll. Zu meiner Verfügung stehen zwei Quellen, worauf eine diesbezügliche Berechnung begründet werden könnte: Erstens die vom Kap. 7. über das in Åbo für die finnländischen Statseisenbahnen gewonnen Ausbeuten, welche einer zuverlässigen offiziellen Quelle entstammen und die nachher mit einigen Angaben aus der Verwaltung der Eisenbahn ergängt worden sind. Zweitens verfüge ich über statistische Angaben [1]) aus der städtischen Gasanstalt in Helsingfors, die sich auf das Jahr 1913 vor dem Kriege beziehen.

Die richtige Bewertung eines technischen Gases bietet ferner Schwierigkeiten, weil der Wert desselben Gases erheblich variiren kann, je nach dem Zweck seiner Verwendung. Dies ist ohne Weiteres schon daraus ersichtlich, dass man in einem Fall etwa auf das Leuchtvermögen, in anderen auf den Heizwert, im dritten vielleicht auf seine Anwendbarkeit für Motorenbetrieb, im vierten auf sein Reduktionsvermögen usw. das Hauptgewicht legt. Unter diesen Umständen bleibt jede Wertberechnung unsicher.

Das einfachste wäre ohne Zweifel gewesen, den Wert des Ölgases aus seinen Darstellungskosten herzuleiten, wobei man

---

[1]) Statistisk Årsbok för Helsingfors (1915), S. 281. Helsingfors stads gasverks årsberättelse för 1913.

sie natürlich möglichst billig berechnen soll. Diesen Weg habe ich zunächst betreten, und mit folgenden Resultate.

Im Kap. 7 haben wie gefunden, dass in einem Jahre in der Ölgasanstalt zu Åbo aus 200,000 Gasöl 92,550 kbm Gas, 7500 kg Teer und 12750 kg flüssige Kohlenwasserstoffe erhalten worden sind, die sich bei einem Druck von 10—12 Atm. aus dem Gas kondensiert hatten. Als Gasöl war Masut angewandt worden. Legen wir das im Jahr 1913, unseren Vergleichjahr vor dem Kriege, vorhandene Preis von rund 63 Fmk pro Tonne Masut zu Grunde, so betragen die Unkosten für die angegebene Menge Masut 12,600 Fmk oder 13,6 p:i pro kbm. Der Preis für die zum Vergasen von 1 kbm Ölgas nötige Koks ist zu rund 4 p:i, und andere Kosten (Arbeitskosten, Verzinsen, Amortisierung der Anlage, Komprimierung des Gases usw.) auf etwa 13 p:i. Die Unkosten betragen also *im Mittel* **30,6 p:i pro kbm Gas.**

Das erzeugte Gas wurde, wie erwähnt, zum Beleuchten von Eisenbahnwagen benutzt [1]), wogegen wir bei den sehr bedeutenden Mengen, die bei der von uns gedachten grossen Gasproduktion entstehen würden, eine weit allgemeinere Anwendung beabsichtigt haben. Das grösste Verwendungsgebiet für technisches Gas ist bekanntlich sein Verbrauch als *Heizgas*. Unter diesen Umständen dürfen wir nicht ohne Weiteres den obigen Wert für das erzeugte Ölgas, sondern einen andern, der auf seine Benutzung als Heizgas begründet ist, anwenden.

Um dies zu berücksichtigen, liegt es am nächsten, das Ölgas mit dem gewöhnlichen Leuchtgas zu vergleichen, das zum allergrössten Teil für Heizungszwecke verbraucht wird. Nach den statistischen Daten für die hiesige Gasanstalt betrugen die Bruttokosten für die Gasbereitung *rund 12 p:i pro kbm*, was also den Wert dieses Leuchtgases bedeutet. Diese Zahl übereinstimmt mit der gleichen Durchschnittszahl für die städtischen Gasanstalten in Deutschland [2]); dies

---

[1]) Zu diesem Zchweck wurde es noch mit Azetylen gemischt, was unsere Preisberechnung nicht ändert.

[2]) Friedrich Greineder, Die Wirtschaft der deutschen Gaswerke S. 24 (1914).

zeigt einerseits, wie vorteilhaft diese Einrichtung in Helsingfors funktioniert, und andererseits, dass wir berechtigt sind, diesen Wert für unsere Zwecke zu benutzen. Nur ein sehr wichtiger Umstand kommt noch hinzu.

In seinem schon erwähnten Handbuch[1]) teilt Strache eine Tabelle über den Heizwert verschiedener Leucht- und Heizgase mit. Wir geben unten die Zahlen für die wichtigeren

	Heizwert pro kbm in Kal.	
	oberer	unterer
Technischer Wasserstoff ...	3060	2560
Hochofengas ...	980	960
Generatorgas aus Koks	950	940
» » Kohle ...	1110	1070
Mondgas ...	1400	1240
Wassergas aus Koks ...	3000	2730
» » Kohle ...	2900	2590
Karburiertes Wassergas	5550	5120
Mischgas ...	5170	4640
Steinkohlengas ...	**5500**	**4910**
Naturgas ...	8600	7720
Ölgas ...	**11170**	**10310**
Technisches Acetylen	13840	13770

Bei der Bestimmung von Wärmemengen in der Gasindustrie ist bekanntlich zu berücksichtigen[2]), dass die brennenden Stoffe gewöhnlich Wasserstoff enthalten, der bei der Verbrennung Wasserdampf erzeugt. Es wird eine andere Wärmemenge frei, wenn wir die Verbrennung zu *flüssigem* Wasser durchführen, als wenn wir sie nur bis zu *dampfförmiges* Wasser leiten. Im ersten Falle ist der Wärmegewinn ein höherer, und dementsprechend spricht man von einem *oberen* und einem *unteren* Heizwert der Brennstoffe. Manchmal bezeichnet man auch den oberen Heizwert als »Verbrennungswärme» im Gegensatz zum unteren Heizwert, der man rundweg als »Heizwert» benennt.

Nach der Tabelle ist der obere sowie untere **Heitzwert für Ölgas etwas mehr als doppelt grösser als der für Steinkohlengas.** Dies ist für unsere Kalkulation von ganz erheblicher Bedeu-

---

[1]) Gasbeleuchtung und Gasindustrie, S. 1098 (1913).

[2]) Strache, a. a. O., S. 105.

tung. Da bei einer event. pyrogenen Zerlegung des Masuts hauptsächlich der Heizwert des entstehenden Gases in Betracht kommt, *so wäre das Ölgas zweimal höher zu bewerten als das gewöhnliche Steinkohlengas*, besonders da auch die Leuchtkraft viel grösser ist als die des letztgenannten. Man käme in dieser Weise zu einem Wert von 24 p:i pro kbm — der des Leuchtgases war nach obigen 12 p:i — und wir finden, dass wir auf diesem anderen Wege allerdings den zuerst kalkulierten Wert von 30,5 p:i pro kbm nicht erreichen, ihm jedoch ziemlich nahe kommen.

Da ich in Anbetracht der schon oben hervorgehobenen Schwierigkeit, den richtigen Weg zu finden, grosse Vorsicht in den Schlüssen als geboten finde, so war in Betracht zu ziehen, ob es tatsächlich richtig ist, bei dieser Verdoppelung des Einstandspreises für das Leuchtgas diejenigen auf die Leuchtgasbereitung fallenden Unkosten, die nach dem Abzug des Wertes für die Steinkohle zurückbleiben, in dieser Weise zweimal in Rechnung zu bringen. Wir wollen dies in der Weise kontrollieren, dass wir erstens diese 10 p:i pro kbm betragenden Unkosten (A.) nur einmal berechnen, dagegen (B.) den Wert der angewandten Steinkohle (etwa 2 p:i pro kbm) gegen den entsprechenden für Masut (13,6 p:i) vertauschen, jedoch mit dem Wert des Teers aus dem Masut [1]) (0,3 p:i) vermindert, und schliesslich diese Summe mit der Zahl ergänzen, die den Unterschied zwischen dem Heizwert des Ölgases und des Steinkohlengases beträgt. Dieser Unterschied (C.) beträgt 3,5 p:i, was sich in folgender Weise berechnen lässt. Da eine Tonne Masut, dessen Preis im Vergleichsjahre 1913 Fmk 63: — war, 10 Milj. Kal. liefert, so kosten 1,000 Kal. 0,63 p:i. Der obere Heizwert (die Verbrennungswärme) des Ölgases pro kbm beträgt rund 11,000 Kal. was 7,0 p:i bedeutet, und da die Verbrennungswärme des Stein-

---

[1]) Der Preis der Steinkohle in der Kalkulation des Leuchtgaspreises ist auch unter Abzug der Preise für Koks, Steinkohlenteer u. a. Nebenprodukte entstanden, weshalb man ähnlich mit dem Masut verfahren muss. Bei der Ölgasbereitung entsteht nur kleine Mengen von Koks (bezw. grafitartige Kohle), das nacher immer in den Retorten verbrannt werden muss und daher nicht in Rechnung gebracht wird.

kohlengases nur 5,500 Kal. ausmacht, so ist der gesuchte Unterschied 3,5 p:i pro kbm, wie oben angegeben. Hieraus ergiebt sich:

A. = 10,0 p:i
B. = 13,3 »
C. = 3,5 »
Wert von 1 kbm Ölgas = 26,8 p:i

Wir gelangen somit zu einem Wert, der fast in der Mitte der beiden früheren, 30,6 und 24 p:i liegt. Es erscheint mir unter diesen Umständen richtig, den aritmetrischen Mittel dieser drei Zahlen: 27,1 oder **rund 27 p:i als den Wert für das Ölgas,** wie er nach den im Jahre 1913 gültigen Preisen hervortritt, anzunehmen.

Bei der Wertschätzung des Gasölprozesses haben wir ferner den Wert der dabei abfallenden kondensierten Kohlenwasserstoffe. In der Ölgasanstalt in Åbo (vergl. S. 48) wurden von denselben bei einem Druck von 10—12 Atmosfären aus dem Gase eine Menge von 12750 kg, bei einen Gasölverbrauch von 200,000 kg ausgeschieden. *Diese Berechnung ist für uns von besonderem Interesse, weil sie den Mehrbetrag in der Bewertung des Ölgasprozesses zeigen wird, der auf Grund unserer experimentellen Resultate in der vorliegenden Arbeit zum Vorschein gekommen ist.* Bisher wurde nämlich dieses Kondensat für in chemischer Hinsicht wertlos gehalten und einfach verbrannt.

Die kondensierten flüssigen Kohlenwasserstoffe enthalten als technisch wichtigen Bestandsteile *Isopren*, *Benzol* und *Toluol*. Ausserdem kommen die übrigen Bestandteile des Kondensates vorläufig nur als ein dem gewöhnlichen Benzin[1]) ziemlich

[1]) Tatsächlich sind diese Kohlenwasserstoffe mit Vorteil zum Betrieb von Automobils angewandt worden. Da sie aus ungesättigten und also kohlenstoffreicheren Körpern bestehen, ist vorauszusehen, *dass sie statt Benzol als geeignetes Denaturierungsmittel für Motorsprit (Sulfitsprit) Anwendung finden werden, besonders da sie einen kräftigen aber nicht unbehaglichen Geruch und einen widerwilligen Geschmach besitzen.*

gleichwertiger Heizstoff in Betracht, bis man vielleicht für dieselben eine wichtigere, rein chemische Anwendung findet, was mit der Zeit wohl kaum ausbleiben dürfte.

Zu einer Wertschätzung dieser Bestandteile kommen wir leicht unter Beachtung unserer in einem vorigen Kapitel (S. 35) mitgeteilten Untersuchung über die Kondensate aus russischem Ölgas, die wir hier nochmals referieren möchten. Wir erhielten bei der ersten Destillation desselben aus 14325 g folgende Anteile:

Hauptfraktion	I.	Bis 75°	2762 g	19,3 %
»	II.	75—90°	7442 »	52,0 »
»	III.	90—113°	2519 »	17,6 »
		Rückstand	938 »	6,5 »
		Verlust	664 »	4,6 »
			14325 g	100,0 %

Diese Hauptfraktionen wurden dann weiter destilliert bezw. sonst gereinigt.

Die erste Hauptfraktion enthielt nach zweimaligem Fraktionieren bedeutende Mengen Isopren in den vier ersten, zwischen 13° und 40° übergehenden Fraktionen, deren Menge 1473 g oder 53,3 % der Hauptfraktion sowie 10,3 % der ganzen destillierten Menge (14325 g) betrug. Bei einer mittels des Chlorhydrins bewirkten Feststellung, wie viel Isopren in diesen 1473 g vorhanden war, wurde als sicher nachweisbarer Teilbetrag 364 g Isopren, d. h. etwa der Viertel, oder 2,54 % der ganzen destillierten Menge. Ausserdem wurde ein Chlorhydrin erhalten, dessen Identität mit einem noch unbekannten Monochlorhydrin des Isoprens nicht unwahrscheinlich war. Allem Anschein nach dürfte somit mehr als 2,54 % als Isopren vorhanden sein[1]). Jedoch darf natürlich nur mit der tatsächlich nachgewiesenen Menge gerechnet werden. *Auf 12750 kg Kondensat, aus dem von 200000 kg Masut erhaltenen Ölgas, beträgt dies 324 kg Reinisopren.*

[1]) Dazu kommen noch die in dem Ölgas als unkondensiert vorhandenen Menge, die wahrscheinlich nicht unbedeutend ist.

Aus der zweiten Hauptfraktion, 7442 g, wurden nach Fraktionien bezw. Reinigung 46 % Benzol in einer Menge von 3423 g erhalten. Dem entspricht, *auf 12750 kg Kondensat berechnet: 3050 kg technisches Benzol.* Schliesslich wurde festgestellt, dass die dritte Hauptfraktion auf 2519 g rund 50 % Toluol (technisch) oder, *auf 12750 kg Kondensat berechnet: 1122 kg Toluol.*

Berechnet man den Preis für 1 kg Reinisopren, woraus rund 900 g Kautschuk erhalten wurden können, auf Fmk 7: 50 (1 Rmk = Fmk 1: 25), was einem bestehenden Preis des Kautschuks nach dem Kriege nicht übersteigen dürfte, für das kg Benzol auf 62,5 p:i (= Rmk —: 50) und für das kg Toluol auf 75 p:i (= Rmk —: 60), sowie für die Abfälle der ganzen Isoprenfraktion (Ölgasbenzin) zusammen 9269 kg à 30 p:i gleich Fmk 891, so kommt man zu folgenden Zahlen:

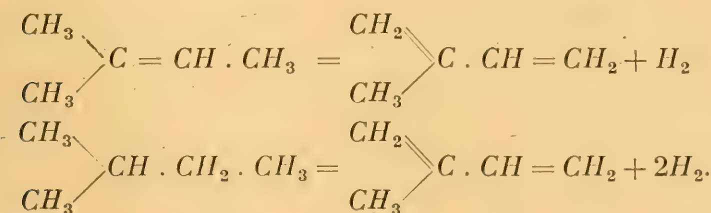
324 kg	Isopren	à	Fmk	7:50	Fmk	2,460: —
3050 »	Benzol	à	»	0,625	»	1,906: —
1120 »	Toluol	à	»	0,75	»	840: —
2969 »	Ölgasbenzin	à		0,30	»	891: —
					Fmk	**6,097** —

Neben dem Benzol kommt Isopren als am meisten wertvoller Bestandteil der verflüssigten Kohlenwasserstoffe vor. Die Ausbeute an Isopren erscheint hier, wie ersichtlich, als verhältnismässig klein, und die Schätzung seiner Menge beruht, wie schon oben angegeben, auf die experimentell begründete aber niedrig geschätzte Angabe, dass nur ein Viertel der zwischen 13° und 40° siedenden Fraktionen aus Isopren besteht. Es verfällt damit noch nicht die Möglichkeit, bei besserer Auswahl der Vergasungsverhältnisse, vor Allem aber der am meisten geeigneten Temperatur, zu einer besseren, vielleicht sogar viel verbesserten Ausbeute zu gelangen.

Im Kap. 2. wurde angeführt, dass meiner Ansicht nach aus alifatischem bezw. alicyklischen Material bei geeigneter

höherer Temperatur, ausser Isopren auch Butadien auf Grund der grösseren Beständigkeit beider, entstehen würde. Was dem Butadien betrifft, so ist dieser Körper, wegen seiner niedrigen Siedepunkt (bezw. Kondensationspunkt) um 0°, unter den bei der Durchführung der Fraktionierung obwaltenden Verhältnissen nicht nachweisbar gewesen. Doch wird man kaum fehl gehen, wenn man annimmt, dass Butadien sicher in dem Ölgase vorhanden ist, vielleicht sogar in nicht unerheblicher Menge. Es wird dem zukünftigem Bestreben überlassen, dies sowie seine Quantität festzustellen, und ausserdem wie dieses niedrigere Isomere des Isoprens am besten isoliert werden kann. Wahrscheinlich wird sich eine Absorption in irgend einem flüssigen Kohlenwasserstoff, wie Paraffinöl oder dergl., als empfehlenswert zeigen. In der Weise könnte, ausser dem gewöhnlichen Kautschuk, auch Butadien-Kautschuk durch die von mir empfohlenen Arbeitsweise für die Verwertung des Erdöls in rationellerer Weise gewonnen werden.

Was dem von mir nachgewiesenen Vorkommen des Isoprens unter den besprochenen Produkten betrifft, so wird jede die Isoprenbildung wirksam befördernde Verbesserung in der Vergasung zu einer beträchtlichen Wertsteigerung der dem Ölgasverfahren entspringenden Produkte bewirken. Beiläufig gesagt bin ich, auf der früher angeführten Begründung gestützt, der Meinung, dass es möglich wäre, unter Anwendung einer geeigneten, höheren Temperatur mit kurzer Einwirkungsdauer[1]) das Amylen, vielleicht sogar das Isopentan, in das beständigere Isopren zu verwandeln:



$$(CH_3)_2 > C = CH \, . \, CH_3 = CH_2 \! = \! (CH_3) > C \, . \, CH = CH_2 + H_2$$

$$(CH_3)_2 > CH \, . \, CH_2 \, . \, CH_3 = CH_2 \! = \! (CH_3) > C \, . \, CH = CH_2 + 2H_2.$$

---

[1]) Ich denke hier auf Einrichtungen wie etwa die Isopren-Lampe von Harries und Gottlob.

Um zu unserer Kalkulation zurückzukehren, so zeigt die obige Berechnung, dass der Preis der Nebenprodukte ganz erheblich ist; er beträgt rund 20 % des Gases. Der Gesamtwert der *aus 200000 kg Masut* erhaltenen Produkte — Gas und Kohlenwasserstoffe — beträgt also

Für das Gas	Fmk	24,988
» das Kondensat	»	6,097
Zusammen	Fmk	31,085

Wir gelangen folglich für den gegebenen Fall zu einem Gesamtwert von **rund 31,000 Fmk,** während der Verkaufspreis für 200 Tonnen des angewandten Masuts, nach dem Grundpreis von Fmk 63 pr Tonne, Fmk **12,600** beträgt.

Durch die Verarbeitung von Masut auf Ölgas steigt also der Preis der Produkte auf den 2 ½ fachen von dem, zu welchem es als Brennstoff verkauft wird.

Es ist hier nochmals zu bemerken, dass die angegebenen Preise *relative, mit einander vergleichbare Zahlen* sind, die sich im Jahre 1913 bei einem normalen Stand der Naftaindustrie auf die Verhältnisse *vor* dem Kriege beziehen. Wie diese Zahlen nach dem Kriege ausfallen werden, lässt sich nicht im Voraus bestimmen. Immerhin geht aus unseren obigen Auseinandersetzungen hervor, dass der angegebene Gewinn auch beträchtlich grösser ist als derjenige, welche bei der jetztigen weiteren Bearbeitung des Masuts in den Fabriken erzielt wird, und der schon recht erspriesslich ist.

10. Einige Angaben über die Mengenverhältnisse.

Wir gelangen nunmehr zu der nicht weniger wichtigen Frage, *ob sich die Gesamtmenge der Residuen, die der russischen Nafta entfallen, in der angegebenen Weise verwerten lassen.*

Da ein sehr erheblicher Teil des Masuts, seiner grossen Vorteile wegen beim Transport sowie bei der Feuerung, an Dampfschiffen und Lokomotiven gebraucht wird, wobei eine der Verbrennung vorangehende Ölgasdestillation bezw. Ge-

winnung der genannten wichtigen Nebenprodukte wohl meistens ausgeschlossen ist, so fallen die dazu angewandten Mengen von Masut (bezw. Rohöl) ausserhalb den Rahmen unserer Kalkulation. Dasselbe gilt auch den für Lokomobile gebrauchten Mengen. Von der destruktiven Destillation sind naturlich ferner ausgeschlossen diejenigen Residuen, die zur Darstellung von Schmierölen, Cylinderölen, Spindelölen u. a. technischen Produkten angewandt werden, die wir eingangs besprochen haben. Dagegegen wird man wohl diesbezüglich keine unüberwindliche technische Schwierigkeiten in übrigen Fällen begegnen, in denen das Masut als Brennstoff benutzt wird: in den Fabriken und in der Metallindustrie, wo die Anwendung von Gasen statt festen und flüssigen Heizungs- bezw. Reduktionsmittel vorteilhaft ist. Daran schliesst sich noch eine viel allgemeinere und ausgedehntere Verwendung des Masuts für Produktion von Ölgas als Energiequelle für Gasmaschinen, die unter den oben angegebenen Bedingungen gewiss sowohl möglich wie empfehlungswert erscheint. Die Frage entsteht dann, wie viel Masut für diese Zwecke verbraucht werden könnte.

Leider verfügt man über keine zuverlässige diesbezügliche Angaben, sondern muss zu einer ungefährlichen Schätzung greifen. Ein auf diesem Gebiete wohl verfahrener Fachtechniker, den ich um Rat gefragt habe, ist der Ansicht, dass nur etwa 10 % des Masuts in der Petroleumindustrie weiter raffiniert werden, während die eine Hälfte der übrigen 90 % zur Kesselfeuerung von Dampfschiffen, Lokomotiven, Lokomobilen u. s. w., bei denen eine Gasproduktion nicht möglich ist, die zweite Hälfte, also ebenfalls etwa 45 % der ganzen Menge, zur Heizung in den Fabriken bezw. zu metallurgischen Zwecken usw. verbraucht werden.

Die Jahresproduktion der russischen Erdölindustrie betrug [1]):

[1]) Chem.-Zeit. *37*, 482 (1913); *39*, 722 (1915).

im Jahre	1909	9,177,120	Tonnen
	1910	9,557,155	»
	1911	9,151,829	»
	1912	9,263,566	»
	1913	9,247,000	»
	1914	9,173,000	»
im Mittel pr Jahr		9,261,612	Tonnen

45 % von dieser Zahl oder 4,167,725 Tonnen wäre also nach obiger Annahme diejenige, welche entweder als Rohnafta oder als dafür äqvivalente Mengen Masut für die trockne Destillation in Frage käme. Aus 100 Teilen Rohnafta erhält man, wie früher angegeben, 62 Teile Masut. Folglich liefern obigen 4,167,725 T. Rohöl rund 2,584,000 T. Masut.

Oben wurde angegeben, dass 200 T. (200,000 kg) Masut 92,550 kbm Ölgas, 7,500 kg Teer sowie 12,750 flüssige Kohlenwasserstoffe liefern, und ferner wie viel Isopren, Benzol, Toluol und Ölgasbenzin aus den letzteren zu erhalten sind. Rechnet man diese Mengen auf die 2,584,000 T. Masut um, so würde man, *ausser 1,195,746,000 kbm Ölgas*, folgende Mengen erhalten:

Isopren	4,186,080	kg
Benzol	68,463,080	»
Toluol	12,558,240	»
Ölgasbenzin	11,498,800	»

Diese Zahlen sind nicht etwa als ein Spiel mit Ziffern zu betrachten. Sie stellen gewissermassen Grenzzahlen für die künftige Produktion der genannten Körper dar, da ja Niemand ernstlich die Meinung hegen kann, dass schon in der nächsten Zukunft eine jährliche Masutmenge von 2 ½ Millionen Tonnen auf Ölgas verarbeitet werden könnte. Eine so gewaltige industrielle Entwickelung vollzieht sich keineswegs, und am allerwenigsten in der russischen Naftaindustrie, in einigen Jahren. Doch muss es einem Jeden einleuchtend sein, dass *die Verbrennung dieser Riesenmenge von Masut*

staatsekonomisch eine **Verschwendung** *wertvollen Materials ist.* An die obigen Kalkulationen anknüfpend, erlaube ich mir noch folgende Zusammenstellung von Tatsachen vorzuführen.

Eine Tonne guter Steinkohle liefert im Mittel 7,200,000 Kal., deren mittlerer Preis Fmk 25: — beträgt. 10,000,000 Kal. kosten also beim Verbrennen von Steinkohle Fmk 34: 90. Aus einer Tonne Masut werden dagegen 10,000,000 Kal. erhalten, die an der Fabrik Fmk 63: — kosten. Unter Anwendung von Masut entsteht also ein Verlust in Wärmeäqvivalenten, deren Wert nicht weniger als Fmk 28: 10 pr 1,000 kg Masut, also rund 45 % beträgt. Schon hieraus ergiebt sich, *wie unvorteilhaft das Heizen mit Masut ist.* Dieser Verlust erhöht sich aber, wenn man die Wert-steigerung von Masut auf Fmk 134 pro Tonne in Betracht zieht, welche auf die Bearbeitung desselben auf Solaröl, Spindelöl usw. beruht und die 134—63 = 71 Fmk beträgt. Und wenn man aus dem Masut Ölgas mit den daneben entstehenden Nebenprodukten bereitet, *deren Wert, auf die Tonne berechnet rund Fmk 155: — beträgt*, so würden wir, bei Anwendung des Rohmaterials zum Heizen, einen Verlust von 155—63 oder rund Fmk 92: — zu verzeichnen haben.

Nachdem dies die Erkenntnis über den erheblicheren Wert der Naftaresiduen klargestellt hat, könnte man unter diesen Umständen erwarten, dass die Anwendung des Masuts zum Heizen von Jahr zu Jahr abnehmen würde, sowie dass eine einsichtsvolle wirtschaftliche Politik seitens des Staats gegen diese Verschwendung der hochwertigen Naturschätze, die in den Erdölen liegen, eingreifen würde.

Schon jetzt ist es geboten, einiges über die zu erwartenden Nebenprodukte, besonders über das Isopren, Benzol und Toluol, zu bemerken.

Bezüglich des Isoprens möchte ich zur Klarlegung der Realisierbarkeit eines der leitenden Gedanken dieser Abhandlung an dieser Stelle das wiederholen, was ich bei einer früheren Gelegenheit über die mutmassliche Steigerung des Weltbedarfs an Kautschuk hervorgehoben habe. In dem schon eingangs erwähnten, vor dem *Finländischen Chemikerverein*

den 10 Febr. 1915 gehaltenen Vortrag [1]) wurde folgendes geäussert:

»Diese Produktion (die Weltproduktion des Kautschuks) stieg im Jahre 1912 [2]) auf 105,000 Tonnen, von denen etwa der Drittel (31,000 Tonnen) als Plantagengummi, und also aus angebauten Kautschuk-gebenden Pflanzen herrührten. Nach zugänglichen Angaben dürfte die Ausbeute an Plantagen-Kautschuk für das Jahr 1913 auf etwa 55,000 T., sowie für 1914 auf etwa 131,000 T. zu schätzen sein. Der in kg angegebene Kautschuk wäre demnach auf eine neun-zifferige Zahl aufzuschätzen»............. »Nun zeigt ...... allerdings die Erfahrung, dass wenn ein nützliches Produkt billig und leicht zugänglich geworden ist, so wird auch seine Anwendung erheblich gesteigert, jedoch hat dies eine gewisse Grenze. Da man die Produktion des Plantagen-Kautschuks im Jahre 1919 auf 302,000 T. berechnet hat, so muss dies eine weitere Preisermässigung hervorrufen».

Inzwischen hat nun der Krieg einen viel gewaltigeren Verbrauch an Kautschuk hervorgerufen, als man damals voraussetzen konnte. Dabei ist meines Wissens keine bestehende, durch Überproduktion beruhende Erniedrigung des Preises eingetreten. Und wie immer, wenn es sich um einen vermehrten Verbrauch eines nützlichen Artikels handelt, zeigt sich eine solche Steigerung geneigt anzuhalten, auch nachdem die Ursache für die starke Nachfrage beseitigt worden ist, und zwar weil der Preis sinkt. Diese Erscheinung muss naturlich ihrerseits ein Bestreben bewirken, die Ware möglichst zu verbilligen, u. A. durch Auffindung und Anwendung eines wohlfeileren Rohmaterials. Wahrscheinlich wird daher die Fabrikation von Kautschuk nach dem Kriege stark zunehmen, wenn ein reichlich zugängliches Isopren gewonnen werden könnte. Die darauf gerichtete Arbeit würde dann fortwährend als eine sehr wichtige zu bezeichnen sein.

---

[1]) *Finska Kemistsamfundets Meddelanden* **24**, S. 2, 11 (1916); *Teknikern*, **25**, 83 (1915).

[1]) Das letzte, worüber ich damals Litteratur-Angaben gefunden habe.

Die oben kalkulierte Isoprenmenge von rund 4,200,000 kg dürfte, vorausgesetzt dass die unvermeidlichen Verluste bei der Fabrikation berücksichtigt werden, eine Menge von rund 3 1/2 Miljonen kg Kautschuk liefern und somit einen Teil der entstehenden Nachfrage bezüglich eines billigen Rohmaterials füllen können. Wenn wir die oben (S. 62 ff) berührten Umstände berücksichtigen, welche andeuten, warum die Ausbeute an Isopren relativ klein ausgefallen ist, so erscheint der Gedanke nicht unrealisierbar, dass sie vielleicht zwei- bis dreimal erhöht werden könnte, und zwar schon unter Anwendung des die obige Ausbeute liefernden Materials. Zudem ist zu bemerken, dass je wertvoller das russische Masut bezw. das ebenfalls brauchbare, besonders von einigen Fundorten herrührende Rohöl, durch ihre Anwendung für neue Zwecke wie die vorliegende werden, desto mehr wird eben dafür disponibel. Ausserdem käme, was ich besonders hervorheben möchte, für denselben Zweck noch das nicht russische Rohöl bezw. spezielle geeignete Fraktionen daraus, die ja auch schon bisher für Ölgasbereitung angewandt worden sind, in Betracht. Die Rohöle sind allerdings paraffinreicher und dürfen daher im allgemeinen verminderte Ausbeuten an Isopren bezw. Benzol und Homologen als die kalkulierten liefern (vergl. oben S. 63), und andererseits sind ihre Residuen, wegen den ziemlich bedeutenden Gehalt an festem Paraffin z. T. wertvoller. Da aber die russische Naftaproduktion nur etwa 20 % der der Weltproduktion, während schon die amerikanische ungefähr die Hälfte von dieser ausmacht, so ist es einleuchtend, dass man in den Fällen, wo die für Gewinnung von Isopren bezw. Benzol und Toluol geeignete trockne Zerlegung dieser anderen Erdölfraktionen möglich ist, mit einem sehr reichlichen Rohmaterial für denselben Zweck zu rechnen hat.

Wenn unsere Idé durchführbar ist, so wäre dies mit einer sehr grossen Benzol- und Toluolproduktion verbunden, die eine Erniedrigung ihrer Preise zu Folge haben wird. Es entsteht deshalb auch die Frage, inwieweit dies auf die wirtschaftliche Ausbeutung des Grundgedankens einwirken

könnte. Darauf ist zu antworten, erstens dass die Einführung sehr grosser Mengen der beiden Benzolkohlenwasserstoffe auf den Markt natürlich einen Preisfall bewirken kann, der wegen der Wichtigkeit der Stoffe als Rohmaterial wohl nur vorübergehend sein kann, weil ihre Mehranwendung in neuen Richtungen das Mehrangebot nach einiger Zeit wieder ausgleichen wird. Zweitens ist die uns interessierende Frage dahin zu beantworten, dass der Preis des Benzols und Toluols die Kalkulation in erheblicherer Art nicht beeinflusst.. Hier handelt es sich dagegen nur um eine Preisermässigung der genannten Nebenprodukte.

Immerhin wird, wie ich gezeigt habe, das Masut und die Rohnafta, auch wenn letzteres als Rohmaterial gebraucht wird, durch die vorgeschlogene pyrogene Zerlegung viel wertvoller, als wenn sie verbrannt werden. Vorausgesetzt, dass meine Kalkulationen auf richtigen Voraussetzungen fussen, so erblicke ich in jenem Umstand eine günstige Andeutung bezüglich der technisch-wirtschaftlichen Durchfürbarkeit des Gedankens.

Ich möchte zum Schluss Herrn Ingenieur Otto Segercrantz für die vielen wichtigen Angaben aus der Erdöl-Technik, die er mir gegeben hat, meinen besten Dank aussprechen. Auch Herrn Baron Edvard Cedercreutz, dem Direktor der hiesigen städtischen Gasanstalt, bin ich für seine vertvolle Rotschläge zu vielem Dank verpflichtet.

Helsingfors den 10 Mai 1918.

Öfversigt af Finska Vetenskaps-Societetens Förhandlingar.
Bd. LXI. 1918—1919. Afd. A. N:o 8.

Studien über das Allylradikal.

Von

Ossian Aschan.

(Eingereicht den 20 Januar, gedruckt den 14 Maj 1919).

Die Allylverbindungen nehmen unter den übrigen Gruppen der Fettreihe in der Hinsicht eine Sonderstellung ein, dass sie den Äthylenrest in direkter Bindung mit dem einfach substituierten Methylradikal, $- CH_2 X$, enthalten, worin X einen gewöhnlichen Substituenten bedeutet. Die Zwitterartige Natur eines derartigen Gebildes wird ersichtlich schon beim ersten Blick auf die Formel des für die Allylgruppe typischen *Allylalkohols:*

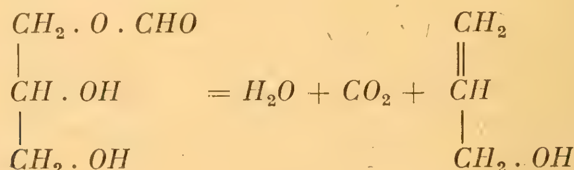


$$CH_2 = CH \,.\, CH_2\, OH.$$

Einerseits bedingt das Vinylradikal das Additionsvermögen und die übrigen für die Äthylenkörper eigentümlichen Umwandlungen, vor Allem aber vermindert sie die Haftenergie der daran gebundenen Methylengruppe für negative Atome bezw. Reste, so dass also das Allylradikal vermittels jener Gruppe derartige Atome oder Reste nur schwach zu binden vermag. Selbstverständlich sind dagegen alle diejenigen Umwandlungen möglich, welche auf dem Austausch der an diesem einfach substituierten Methylradikal angefügten Substituenten beruht. Das Allylradikal muss folglich in seinem Verhalten dem Benzylradikal ähnlich sein.

Ein Studium der Umwandlungen in der Allylgruppe bietet ferner ein besonderes Interesse, weil Allylverbindungen auch durch die Lebenskraft erzeugt werden, und damit sind wir auf das geschichtliche Gebiet dieser Körper gelangt, denn die ältesten Beobachtungen über dieselben betreffen aus natürlichem Material gewonnene Allylderivate. Wertheim[1]) entdeckte bekanntlich schon 1844 im Knoblauchöl das Sulfid $(C_3H_5)_2$ S, dessen Radikal durch ihn seinen Namen aus der zugehörigen Pflanze, *Allium sativum*, erhielt. Im selben Jahre wurde von Will[2]) gefunden, dass das flüchtige Senföl aus Sinapis nigra das Isosulfocyanallyl, $SC:N.C_3H_5$, als Hauptbestandteil enthält. Zehn Jahre später stellten Berthelot und de Luca[3]) die erste synthetische Allylverbindung, aus Jodphosphor und Glycerin dar. Es gelang ihnen zugleich, das dabei entstehende Allyljodid, C_3H_5J, durch Einwirkung von Rhodankalium in das genannte Senföl zu verwandeln. Cahours und Hofmann[4]) führten kurz darauf das Jodid in den Allylalkohol über.

Indes räpresentierte dieses Verfahren einen zur Gewinnung des letztgenannten wichtigen Körpers sehr mühsamen Weg. Die Untersuchung der Allylverbindungen nahm einen wesentlichen Fortschritt erst dann an, als Tollens[5]) im Jahre 1870 den Allylalkohol beim Erhitzen von Glycerin mit Oxalsäure, und zwar, wie es sich herausstellte, durch Überhitzen des dabei primär gebildeten Glycerinmonoformylesters, zu bilden lehrte:



$$\begin{array}{l} CH_2.O.CHO \\ | \\ CH.OH \\ | \\ CH_2.OH \end{array} = H_2O + CO_2 + \begin{array}{l} CH_2 \\ \| \\ CH \\ | \\ CH_2.OH \end{array}$$

[1]) Ann. d. Chemie **51**, 289 (1844).

[2]) Ebenda **52**, 1 (1844).

[3]) Ann. d. Chemie **92**, 307 (1854); vergl. Zinin, ibid. **95**, 128 (1855).

[4]) Ibid. **97**, 126 (1856).

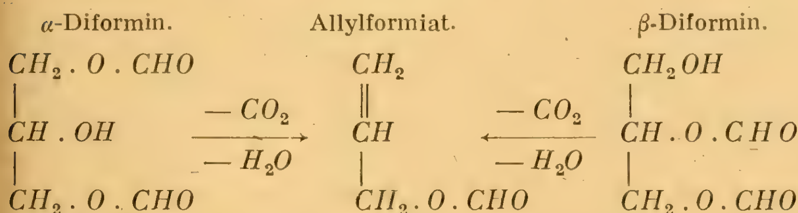
[5]) Ibid. **156**, 129 (1970).

Die Darstellung des Allylalkohols stellt sich aber auch nach dieser Methode immerhin wenig vorteilhaft heraus. Die Ausbeute ist gering, und es ist nicht leicht, den bei 96—97° siedenden Alkohol von dem mitgebildeten Wasser zu befreien. Aus diesem Grunde erschien es mir erwünscht, den Körper sowie andere Allylverbindungen in anderer, mehr ergiebiger Weise zu erhalten. Meine darauf gerichteten Bestrebungen verfolgten ausser dem rein wissenschaftlichen auch ein praktisches Ziel, welches auf die eventuelle Anwendbarkeit der Allylverbindungen zum Denaturieren von Sprit [1]) gerichtet war.

1. Darstellung des Allylformiats.

Der folgende Gedanke liess sich nun tatsächlich zur Gewinnung eines geeigneten Rohmaterials für Allylalkohol und andere Allylverbindungen verwerten.

Da der Allylalkohol beim Erhitzen des *Mono*formylesters des Glycerins gebildet wird, so erschien es von vorn herein fast selbstverständlich, dass das Allylformiat durch die ähnliche Zersetzung des Diformylesters, und zwar sowohl des α- wie des β-Esters, entstehen sollte, nach dem Schema:



[1]) Diese Frage war vor etwa 5 Jahren, als die vorliegende Arbeit hauptsächlich ausgeführt wurde, in Finland aktuell, wo eine unter meinem Vorsitz arbeitende staatliche Kommission mit dem Ausarbeiten neuer gesetzlicher Bestimmungen für die Denaturierung betraut war. Nachdem ich festgestellt hatte, dass der zu diesen Zweck angewandte rohe Holzgeist als wirksamen Bestandteil Allylalkohol enthält, wurde meine Aufwerksamkeit ausserdem auf die eventuelle Anwendbarkeit anderer Allylverbindungen, besonders des Allylformiats, gerichtet, welchem Körper neben einem scharfen Geschmack die vor dem Alkohol vorteilhafte Eigenschaft zukommt, dass er *5-mal weniger giftig* als dieser ist (0,25 ccm Allylformiat tötet ein 1 kg

Da ferner das Endprodukt ein Ester ist, der von dem mitgebildeten Wasser viel leichter als der Allylalkohol trennbar sein müsste, so war voraussichtlich, dass sich der genannte Reaktionsgang als vorteilhaft herausstellen würde. Es handelte sich daher nur um die ausgiebige Darstellung eines der Diformine.

Dabei war es vom erheblichen Interesse, dass van Romburgh[1]) schon vor geraumer Zeit diesen Ester isoliert hatte, — ob einheitlich oder als ein Gemenge der beiden Isomeren, lässt sich nicht entscheiden — und zwar als Nebenprodukt bei der Darstellung der Ameisensäure nach der bekannten Lorin'schen Methode aus Glycerin und Oxalsäure. Als die dabei bleibenden Rückstände auf 140° erhitzt und dann mit Äther extrahiert wurden, so ging ein Diformin in Lösung. Dieses gab in der Tat beim Erhitzen (auf 170°) Allylformiat. Jedoch ist seine Gewinnung auf diesem Wege mühsam und zur Darstellung beliebiger Mengen ungeeignet.

Ich versuchte dann *das Diformin direkt aus Glycerin und der technisch gewonnenen, sehr billigen konzentrierten Ameisensäure zu erhalten.* Schon der erste Versuch zeigte, dass dieser Weg gut gangbar war. Bereits ein verhältnismässig kleiner Überschuss der 95-prozentigen und sogar einer 93-prozentigen Ameisensäure, die übrigens, wenn es sich um eine Darstellung im Grossen handelt, nachher leicht zurückgewonnen werden kann, lässt das Diformin in vorzüglicher Ausbeute entstehen. Dieser Ester zerfällt in rohem, nicht isolierten Zustande bei 190—260° — also bei einer erheblich höheren Temperatur als van Romburgh angiebt, deren Optimum bei etwa 220—225° liegt, nach dem obigen Schema. Das *Allylformiat lässt sich in der Weise in unbegrenzter Menge darstellen.* Es wurde eine erhebliche Anzahl Versuche ausgeführt, um

---

wiegendes Kaninchen, wogegen schon 0,05 ccm Allylalkohol denselben Effekt hervorruft. Obwohl daran geknüpfte praktische Umstände die vorliegende Publikation z. T. verzögert hat, hat jedoch meine durch andere Arbeiten begrenzte Zeit hauptsächlich das relativ späte Hervortreten derselben bewirkt.

[1]) Compt. rend. 93, 847 (1881).

bei der Wichtigkeit der Reaktion die Gewichts- und Qualitätsmengen der Rohmaterialien festzustellen, sowie ob und welche Katalysatoren nötig sind, um die bestmögliche Ausbeute zu gewinnen. Quantatativ fällt sie jedoch lange nicht aus, weil auch z. T. anderweitige Zerfallreaktionen sich abspielen, wie schon das Vorkommen des Kohlenoxyds in den abgehenden Gasen zeigt. Ausserdem wird aber auch ein Teil des entstehenden Allylformiats durch das mitgebildete Wasser bei der hohen Zerfalltemperatur des Diformins verseift, und schliesslich bleibt ein Teil des Ausgangsmaterials, des Glycerins, unverändert bezw. wandelt sich in Polyglycerin-artige Produkte um. Die Ausbeute an Allylformiat bewegt sich immerhin um etwa 60 % der teoretischen. Die höchste Ausbeute war 67 %, jedoch kommt sie zu dieser Höhe, trotz Innehaltung ganz bestimmter Kautelen, selten herauf.

Von Katalysatoren wurden Salmiak, Oxalsäure (kristallwasserhaltige und wasserfreie), Chlorzink und Chlorwasserstoff (in der angewandten Ameisensäure zu etwa 3 % eingeleitet) angewandt. Nur der Salmiak (zu etwa 1 % der gebrauchten Glyzerinmenge zugesetzt) scheint indes eine gewisse Verbesserung der Ausbeute zu bewirken und wurde bei den späteren Versuchen immer angewandt. Ein wichtiger Umstand, dessen Nichtbeachtung grosse Verluste an Allylformiat bewirken kann, ist die sehr leicht eintretende Verseifung des Esters, sowohl beim Stehen seiner Ameisensäure-haltigen Lösung schon bei gewöhnlicher Temperatur, wie auch in erhöhtem Maasse beim Destillieren eines solchen Rohesters. Reinigung, Trocknen und Rektifizieren des Esters ist möglichst bald nach seiner Bildung vorzunehmen.

Über den Verlauf der Reaktion giebt folgender, etwas grössere

Versuch 1 Aufschluss: 1.5 kg Glyzerin (Dichte = 1.26, 31° Bé, 98 %:tig), 900 g 95-proz. technischer Ameisensäure sowie 15 g Salmiak wurden in einem grossen, schräggestellen, mit aufrecht gerichtetem Luftkühlrohr versehenen Fraktionierkolben 4 Stunden lang zum Kochen erhitzt. Dann wurde der Kolben aufrecht gestellt, mit absteigendem Kühler sowie

einem in die Flüssigkeit eingestellten Thermometer versehen, und nun Ameisensäure und Wasser abdestilliert, bis letzterer 180° anzeigte. Dabei wurden folgende Fraktionen aufgenommen:

Fraktion.	Destillat in g:	Temp. in der Masse.	Dichte:	Gehalt an in g:	Ameisensäure in %:	Wasser in g:
1.	48	128—131°	1.062	13.2	27.5	34.8
2.	56	131—136°	1.065	16.0	28.8	40.0
3.	46	136—140°	1.065	16.8	28.8	29.2
4.	57	140—143°	1.070	17.7	31.0	39.3
5.	208	143—180°	1.072	72.0	34.7	136.0
	415			135.7		279.3

Die angewandten 900 g 95 %-iger Säure enthielten 855 g wasserfreie Ameisensäure; davon waren 135.7 g mit dem Wasser überdestilliert und folglich 719.3 von dem Glyzerin gebunden worden. Um aus 1,500 g des 98 %-igen Glyzerins ein Diformiat zu erhalten, sind aber 1,470 g Ameisensäure nötig, folglich müssten noch 779 g 95-iger Säure zugeführt werden. Da aber frühere Versuche gezeigt hatten, dass ein Teil des Glyzerins bei der Reaktion immer in Polyglycerine übergeht, so wurden von dieser Menge nur 750 g (Ameisensäure als 100-prozentig = 713 g) zu der bei 180° nach der Destillation im Kolben zurückgebliebenen Menge zugegeben und weitere 3 Stunden unter aufgerichtetem Kühler wiederum erhitzt, worauf eine neue Destillation erfolgte. Von einer Innentemperatur von 130° der Flüssigkeit beginnend, gingen dabei wieder folgende Mengen über:

Fraktion.	Gewicht.	Temperatur.	Dichte.	Ameisensäure in g:	Ameisensäure in %:	Wasser in g:
1.	76	—	1.120	119 g (1.–2.)	53 %	105 (1.–2.)
2.	138	—	1.126		»	
3.	83	—	1,130	133 (3.–6.)	58 % (3.–6.)	97 (3.–6.)
4.	109	bis 170°	1.131			
5.	87	» 190°	1.131			
6.	40	» 203°	1,131			

Von der das 2-te Mal zugegebenen Ameisensäuremenge (713 g 100 % Säure) wurden also 252 g zurückgewonnen; mithin wurden diesmal 461 g von dem Glyzerin gebunden. Zur völligen Bildung des Diformiates fehlten also noch rund 318 g oder, auf die nötige Gesamtmenge berechnet, etwa 21 %. Ich verzichtete aber auf eine weitere Zugabe und behandelte nur den Rückstand der ganzen Destillation (201 g s. u.) von Neuem mit der nötigen Säuremenge unter 4-stündigen Kochen. Nachher gingen bis 260° 45 g Allylformiat über, während der letzte Rückstand 122 g betrug.

Bei den Destillationen fand schon von 180° an Kohlensäureentwickelung statt. Bei 203° wurde sie lebhafter und bei 210° war sie sehr lebhaft. Die hauptsächliche Zersetzung spielte sich bei 220—225° ab. Darnach stieg die Temperatur langsam auf 230° und schliesslich schnell auf 256°. Der Rückstand im Kolben wog 201 g und, nach abermaliger Behandlung mit Ameisensäure (s. o.), 122 g.

Das bei 203—256° übergehende rohe Allylformiat wog 1294 g. Diese Menge wurde destilliert und ergab: bis 95° 1015 g in zwei Schichten, von denen die obere Ester-Schicht das Gewicht 904 g zeigte, die niedere wässrige 111 g mit 0.7 g Ameisensäure pr g, die anscheinend schon als solche in der grossen Fraktion 203—256° vorhanden gewesen war. Oberhalb 95° kam wenig Öl, vom Wasser unterlagert. Die Esterschicht (904 g) wurde nachher mit 90 g geglühte Pottasche geschüttelt, bis die saure Reaktion nach etwa 3 Minuten verschwunden war. Diese und die bei der Behandlung des Rückstandes mit Ameisensäure zuletzt resultierende Allyl-Estermenge (45 g Rohdestillat gaben bei der Behandlung wie oben 32 g Allylformiat) betrug also in Allem 862 g oder *61.5* % der theoretischen Menge.

Die Ausbeute ist, wie ersichtlich, lange nicht die theoretische. Die fehlenden etwa 40 % sind wahrscheinlich zurückzuführen, zum kleineren Teil auf die Zersetzung der Ameisensäure bei der relativ hohen Destillationstemperatur in Wasser und Kohlenoxyd (letzteres tritt immer auf) sowie auf den Übergang des Glyzerins in Polyglyceride bezw. deren Formiate, zum grösseren Teil wieder auf die Zerlegung des

gebildeten, leicht verseifbaren Allylformiates in Allylalkohol und Ameisensäure, was besonders bei der nicht zu vermeidenden erneuten Destillation des zwischen etwa 190 und 260° übergehenden Rohproduktes nicht zu entgehen ist.

Eine zeitraubende Verteilung des letzt genannten Destillats auf mehrere Fraktioner, sowie die zweimalige Einwirkung von Ameisensäure, wie dies bei dem obigen grösseren Versuch gemacht wurde, um einen gewissen Einblick in den Reaktionsgang zu erhalten, ist nicht nötig, wie folgende zwei, unter den etwa 50 verschiedenen herausgegriffenen Versuche zeigen:

Versuch 2. 100 Tle Glyzerin ($d = 1{,}26$), 110 g Ameisensäure (95 %) und 1 g Salmiak wurden 4 Stunden gekocht und sofort destilliert: 1) Bis 190° gingen 51 g über (Ameisensäure und Wasser), 2) bei 190—260° 87 g; Rückstand im Kolben 11.5 g. Fraktion 2) wurde umdestilliert, wobei 70 g bei 77—105° übergingen, davon 5 g einer wässrigen Flüssigkeit, die absepariert wurde. Die Esterschicht (65 g) ergab bei der Behandlung mit Pottasche *56 g* reinen Ameisensäureallylester, d. h. rund 60 % der theoretischen Ausbeute. Das Ganze nimmt kaum 6 Stunden in Anspruch, in welcher Zeit auch grössere Mengen des Esters bequem dargestellt werden können.

Versuch 3. 100 g Glyzerin, 110 g 95 %-ge Ameisensäure, 10 g wasserfreie Oxalsäure und 1 g Salmiak. Nach 4 stündiger Einwirkung wurde bei darauffolgender Destillation erhalten: 1) bis 190° 63 g wässrige Ameisensäure, 2) 88 g bei 190—250° gebildeter Rohester, 3) 17.5 g Rückstand. 2) ergab bei Behandlung wie oben *57* g Allylformiat, also wieder rund *60* % Ausbeute.

Wie aus den Versuchen hervorgeht, erhält man bei der Destillation nicht unerhebliche Mengen recht starker 30—50-proz. Ameisensäure zurück, woraus man die Säure über ihre Salze wieder regenerieren kann oder auch durch geeignetes Erhitzen des daraus dargestellten Natriumformiats Natriumoxalat (bezw. Oxalsäure) gewinnen, was bei der Darstellung von Allylformiat in grösserem Maastabe event. in Frage käme.

2. Gewinnung von Allylalkohol aus dem Ester.

Das Allylformiat ist, wohl wegen der Äthylen- und Karbonylbindung in demselben, eine reaktive Verbindung. Am nächsten liegt die Benutzung desselben für die Darstellung von Allylalkohol. Dies gelang mir leicht, wie unten gezeigt wird, in einer Ausbeute, die bis auf 85 % steigt, am besten sowohl mit 80-proz. Natronlauge wie mit breiartiger Kalkmilch, welche unter Selbsterwärmung auf das Formiat einwirken, sowie Abdestillieren, Trocknen mit festem Kali oder Pottasche und Rektifikation des Alkohols. Trockner Kalk reagiert nicht. Aus der Reaktionsmasse kann die Ameisensäure nachher in gewöhnlicher Weise regeneriert werden.

Darstellung von Allylalkohol aus Allylformiat.

a) *Mittels Natronlauge.* 40 g Allylformiat (1 Mol) wird unter Umschütteln zu 75 g 60-prozentiger Natronlauge in einem mit Luftkühler versehenen Kolben gegeben. Nach vollendeter Einwirkung der Lauge wird so lange aus einem Ölbade unter Zusatz von Siedesteinen destilliert, als noch etwas vor 120° übergeht. Das Destillat wird mit geglühter Pottasche (in unserem Falle wurden 12 g benutzt) von Wasser befreit, worauf die Flüssigkeit von Neuem destilliert und das bei 97—98° siedende aufgenommen wird. Der Allylalkohol siedete bei 96.5°. Ausbeute 21.3 g oder rund 79 %. — Unter Anwendung von ebensoviel 80-proz. Natronlauge wurden 23 g Alkohol aus 40 g Allylformiat, entsprechend 85.2 %, erhalten. In diesem Falle wurden nur 4.5 g Pottasche gebraucht.

b) *Mittels Kalk.* 260 g (etwa 1 $^1/_2$ Mol) gewöhnlicher Kalk werden mit etwa 200 ccm Wasser zu einem dünnen Brei verrührt, und dazu werden 200 g (1 Mol) Allylformiat allmählich unter Umschütteln zugegeben. Nach dem Erkalten wird destilliert. Nachdem das Wasser mittels geglühter Pottasche entfernt worden (gebraucht wurden diesmal 74 g), wird von Neuem destilliert. Es wurden 113 g oder rund

84 % Allylalkohol erhalten, dessen spec. Gewicht $d\,^{15}_{15} =$ 0.8573 bestimmt wurde (*Beilstein* giebt 0.8670 an). — In einer zweiten Darstellung wurden ähnlich 239 g Ester sowie 209 g Kalk und 140 g Wasser angewandt. Ausbeute 136 g Allylalkohol oder 84 % der theoretischen.

Ein Versuch, das Allylformiat durch Kochen mit verdünnter Schwefelsäure (1 Vol: 1 Vol) zu zersetzen, da es zuweilen angegeben wird [1]), dass gewisse Ester in der Weise leichter als mit Alkali verseift werden, gab ein negatives Resultat. Daraus scheint mir hervorzugehen, dass die Reaktionsfähigkeit des Esters nicht etwa auf seiner leichten Verseifbarkeit, sondern wie schon betont, auf der ungesättigten Natur ihrer Radikale beruht.

3. Einwirkung von Chlorwasserstoff (bezw. Brom- und Jodwasserstoff) auf Allylformiat.

Um zu weiteren Allylverbindungen zu gelangen, war es wichtig, zunächst eine einfache Methode zur direkten Gewinnung der Allylhalogene aus dem Allylformiat aufzufinden. Die Aufgabe gewann aus dem Grunde weiteres Interesse, weil sie zugleich *ein neues Verfahren zur Darstellung von Halogenverbindungen einwertiger alifatischer Alkoholradikale darstellt.*

a) *Die Darstellung von Allylchlorid aus Allylformiat.*

Das Hauptinteresse drehte sich um die Gewinnung des Allylchlorids, weil man von vorn herein vermuten konnte, dass diese Allylverbindung, als Rohmaterial für andere Verbindungen, eine fast gleich grosses Reaktionsvermögen wie das Bromid bezw. das Jodid zeigen würde, aber viel billiger ist. Wie ich in einer früheren Arbeit [2]) gezeigt habe,

---

[1]) Vergleich z. B. Th. Weyl, Bd. II 1 S. 508.

[2]) Über Derivate der Petroleumpentane sowie einiger ihrer Homologe: Finska Vet.-Soc:s Öfversigt Bd. 58 Afd. A. N:o 1 (1915—1916).

reagieren auch die Monochloride der Paraffinreihe unter Ersatz des Chlors gegen andere Gruppen genügend leicht, um statt der Brom- und Jodverbindungen zu verschiedenen Zwecken anwendbar zu sein. Im vorliegenden Falle war, wohl wegen der Nachbarschaft der Äthylenbindung zu der halogenisierten primären Alkoholgruppe — CH_2Cl, mindestens eine fast gleich grosse Reaktivität (Lockerung des Chloratomes) zu erwarten wie bei dem einer leichten Umsetzung fähigen Benzylchlorid, worin ebenfalls eine ähnliche benachbarte Anordnung der Atome, allerdings im Benzolkerne, vorhanden ist.

Die Untersuchung zielte darauf hin, die *»Formoxyl»-Gruppe*[1]) im Allylformiat gegen Chlor (bezw. Brom und Jod), durch Einwirkung der gasförmigen Halogenwasserstoffe, direkt zu ersetzen, was sich tatsächlich durchführen liess, nach der Gleichung:

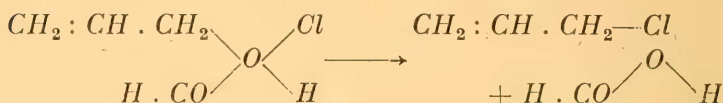


$$C_3H_5 . O . CHO + HCl = C_3H_5Cl + HO . CO . H$$

Die Reaktion dürfte, wie erwähnt, neu sein. Ob sie auch bei Estern anderer einwertiger Alkohole realisierbar ist, ist wenigstens mit der hier beobachteten guten Ausbeute nicht zu erwarten, was demnächst durch eine darauf eigens gerichtete Untersuchung zu entscheiden wäre. Vom Interesse ist nun, dass die Idée durchführbar ist innerhalb der Allylreihe, und zwar mit guter Ausbeute was das Allylchlorid betrifft, wogegen sie unter Anwendung von Brom- und Jodwasserstoff weit schwieriger gelingt. Auch wurde gefunden, dass das Allylacetat mit Chlorwasserstoff Allylchlorid, wenn auch mit ungegnügender Ausbeute liefert. Dass der Formylester besonders leicht reagiert, lässt sich wohl in

[1]) Es empfiehlt sich, als *Formoxyl* die mit der Allylgruppe verbundene Gruppe — $O . CO . H$, und ferner in analoger Weise als *„Acetoxyl“*, *„Propionoxyl“*, ... *„Stearinoxyl“* u. s. w. andere den Anionen der Fettsäuren entsprechenden ähnlichen Reste — $O . CO . CH_3$, — $O . CO . C_2H_5$, ..., — $O . CO . C_{17}H_{35}$, u. s. w. zu bezeichnen, wodurch eine geeignete, den Alkoxylen entsprechende Benennung erzielt würde. Der Gruppenname für die ersteren würde dann *„Acidoxyl“* sein.

der Weise erklären, dass der Estersauerstoff, wenn ihm die Allylgruppe und der gleichfalls stark ungesättigte Ketogruppe in dem Ameisensäurerest benachbart sind, leichter als sonst in den vierwertigen Zustand übergeht und Halogenwasserstoff addiert; nachher findet eine Spaltung unter Bildung von Ameisensäure und Allylhalogen statt:



Aus den angeführten Gründen wurde die Gewinnung des Allylchlorids besonders angestrebt, und für den Zweck eine grössere Anzahl von Versuchen ausgeführt. Es wurde die Beeinflüssigung der Chlorwasserstoffeinwirkung auf dem Allylformiat durch die Wärme sowie durch gewisse Katalyte, wie Zinkwolle, konz. Salzsäure, Zinkchlorid und Calciumchlorid studiert. Wie aus den folgenden, als Beispiele angeführten Versuchen hervorgeht, übt die Einwirkung der Wärme auf dem siedenden Allylformiat entschieden eine beschleunigende Einwirkung aus, falls geeignete Katalyte, unter denen sich konz. Salzsäure bezw. Zinkchlorid als vorteilhaft zeigten, zugegen sind.

Versuch 1. Trockner, gasformiger Chlorwasserstoff wurde durch kochendes Allylformiat einige Zeit durchgeleleitet. Keine Einwirkung. Die Gegenwart von trocknem Äther übt keine Einwirkung aus.

Versuch 2. 20 g Allylformiat wurde in einer Kältemischung mit Chlorwasserstoff nach Zusatz von 2 g konz. Salzsäure gesättigt, und die Mischung wurde im zugeschmolzen Rohr 6 Stunden auf 100° erhitzt. Bei der Destillation gingen 12 g Allylchlorid vor 48.5° über. Ausbeute 67.4 %.

Versuch 3. 50 g Ester und 8.3 g konz. Salzsäure wurden wie im vorigen Versuch behandelt. Bei der Destillation gingen 38 g (85 %) Allylchlorid vor 50° über.

Versuch 4. 15 g Ester wurden nach Zusatz von 7 g Zinkchlorid, unter Abkühlung in Eiswasser gesättigt, worauf

$^1/_2$ Stunde auf dem Wasserbade unter mit Eis-Kochsalz gekühltem Schlangenkühler gekocht. Ausbeute etwa 5 g (38 %).

Versuch 5. 40 g Ester, mit 20 g $ZnCl_2$ versetzt, wurden unter Anwendung eines Schlangenkühlers wie oben gekocht und während 3 Stunden mit Chlorwasserstoff gesättigt. Nach mehrstündigem Stehen wurde destilliert. Es gingen unterhalb 51° 29.5 g Chlorid (Ausbeute 89 %) über. — Bei zweimaligen Wiederholung desselben Verfahrens mit den gleichen Mengen wurden 28.5 bezw. 29 g (80 % bezw. 81.5 %) erhalten. — 200 g Allylformiat und 20 $ZnCl_2$ wurden während 8 Stunden unter Kochen mit trocknem Chlorwasserstoff behandelt. Das mit Wasser behandelte und mit $CaCl_2$ getrocknete Produkt ergab 120 g oder 68 % unterhalb 50° siedenden Chlorids.

b) *Darstellung von Allylchlorid aus Allylalkohol.*

Zum Vergleich wurde auch Allylalkohol als Rohmaterial angewandt.

Versuch 1. Chlorwasserstoff wurde in stark gekülten Allylalkohol bis zur Sättigung eingeleitet, und nachher zwei Stunden unter gutem Kühlen mit Schlangenkühler gekocht. Ausbeute 0.6 g oder 4.5 %.

Versuch 2. 30 g Allylalkohol wurde mit 3 g konz. Salzsäure versetzt, sowie unter Kühlung in Eiswasser mit Chlorwasserstoff gesättigt. Die Flüssigkeit wurde nachher im geschlossenen Rohr 6 Stunden lang erhitzt. Ausbeute an unterhalb 48° siedendem Chlorid 81 %.

Versuch 3. 12 g Allylalkohol wurden mit 10 g $ZnCl_2$ versetzt und unter Abkühlung in Eiswasser mit Chlorwasserstoff gesättigt. Nach halbstündigem Kochen unter Schlangenkühler wurden 2.3 g Allylchlorid (14.5 %) erhalten.

Versuch 4. 20 g Alkohol und 10 g $ZnCl_2$ wurden unter Kochen mit HCl gekocht. Nach Waschen mit Wasser und Trocknen siedeten 16 g unterhalb 51°. Ausbeute 60 %.

Analyse des Allylchlorids: 0.2444 g gaben 0.4552 $AgCl$. Berechnet für C_3H_5Cl 46.40 % Cl; gefunden 46.08 %.

c) *Allylchlorid aus Allylacetat.*

Zur Feststellung der allgemeinen Natur der neuen Bildungsweise für die Allylhalogene wurde auch die Einwirkung von Chlorwasserstoff auf das Allylacetat untersucht.

Zur *Darstellung des* dazu nötigen *Allylacetats* wurden 100 Teile Allylalkohol 4 Stunden mit 200 Teilen Eisessig gekocht, welche 3 % Chlorwasserstoff enthielt. Nachher wurden $^2/_3$ der Flüssigkeit abdestilliert, und diese wurde mit konc. Natronlauge vorsichtig unter Eiskühlung neutralisiert. Der abgehobene Ester wurde mit geglühter Pottasche getrocknet. Bei der Rektifizierung wurden 72.5 g Allylacetat vom Siedep. 105° erhalten.

Zur Bildung von Allylchlorid wurden 40 g des Esters während 9—10 Stunden mit gasförmigem Chlorwasserstoff unter Zusatz von Zinkchlorid behandelt. Das Produkt wurde nach dem Waschen mit Wasser und Trocknen mit $CaCl_2$ destilliert, und die bis 70° übergehende Fraktion von neuen zweimal fraktioniert. Dann resultierten schliesslich 4 g, die wie das Allylchlorid bei 46.4—47° siedeten.

Man findet hieraus, dass auch die Aufspaltung des Allylacetats mittels Chlorwasserstoff, wenn auch schwieriger als die des Allylformiats, stattfindet.

d) *Allylbromid und Allyljodid aus Allylformiat.*

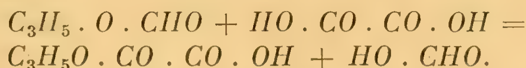
Um die Aufspaltbarkeit des Allylformiats durch Brom- und Jodwasserstoff festzustellen, wurden hierauf gerichte Versuche in folgender Weise ausgeführt.

Allylbromid. 40 g Allylformiat, welchem 2 g fein geraspeltes Zink (sog. Zinkwolle) zugesetzt worden war, wurden kochend, in einem mit Rückflusskühler verschenen Kolben 4 Stunden mit gasförmigem Bromwasserstoff behandelt. Von der nach dem Erkalten in einem Scheidetrichter mit Wasser umgeschüttelten, abgehobenen und getrockneten Flüssigkeit gingen 28 g unterhalb 73° (den Siedep. des Allylbromids liegt bei 71°) über.

Allyljodid. 20 g Allylformiat wurden in Gegenwart von 2 g Zinkwolle in derselben Weise wie oben mit gasförmigen Jodwasserstoff während 3 ½ Stunden behandelt. Nach Reinigung und Rektifizierung wurden 13.7 g Allyljodid vom Siedep. 103°, also in einer Ausbeute von 37.5 %, erhalten.

4. Einwirkung von Oxalsäure auf Allylformiat.

Von erheblichem Interesse war der Befund, dass die Oxalsäure, den Halogenwasserstoffsäuren analog, auf dem Allylformiat bei 100° einwirkt. Doch entsteht durch diese eigentümliche Reaktion, welche auch zum ersten Mol beobachtet wurde, wie leicht zu verstehen ist, wenig des normalen, wohl aber der saure Allylester, also nach der Gleichung:



$$C_3H_5 . O . CHO + HO . CO . CO . OH =$$
$$C_3H_5O . CO . CO . OH + HO . CHO.$$

Die Oxalsäure muss entwässert sein. Nach der Einwirkung krystallisiert, eigentümlicher Weise, ein Teil der Oxalsäure mit 2 Molen Krystallwasser heraus. Wenn nicht etwa ein Teil der Oxalsäure während der Reaktion unter Wasserbildung zerlegt worden ist, so würde dies daraus hindeuten, dass diese Säure bezw. der saure Allylester derselben mit der gebildeten Ameisensäure zu einem gemischten Anhydrid, vielleicht $C_3H_5O . CO . CO . O . CHO$, zusammentreten würde. Das erhaltene saure Allyloxalat geht mit in etwas Wasser gelöstem Rhodankalium in Allylsenföl über (s. u.).

a) *Darstellung von saurem Oxalsäure-Allylester.*

1. 15 g Allylformiat (1 Mol) und 16.1 g entwässerter Oxalsäure (1 Mol) werden in einem mit Kühler versehenen Kolben eingeführt, der für einige Stunden in ein kräftig kochendes Wasserbad eingetaucht war. Dabei ging die Oxalsäure in Lösung. Nach dem Erkalten und Filtrieren wurden 15 g Flüssigkeit und 8 g Oxalsäure erhalten. Letztere wurde

abfiltriert und stellte das gewöhnliche Hydrat, $C_2H_2O_4 + 2H_2O$, dar. Die angewandte entwässerte Oxalsäure enthielt nach einer diesbezügliche Bestimmung nur 2.6 % Wasser, weshalb die diese Wassermenge entsprechende Qvantität der zu dem Versuche angewandten Oxalsäure von vorn herein entsprechend reichlicher bemessen wurde.

2. Der Versuch wurde mit derselben Menge Allylformiat und 2 Molen entwässerte Oxalsäure (32 g) wiederholt. Die feste Masse wurde ausserdem mit Benzol, welches vorher mit $CaCl_2$ getrocknet worden war, behandelt, um auch die anhängenden Reste vom Oxalsäureester zu gewinnen. Ausbeute 21 g Flüssigkeit, die diesmal sowohl sauren wie neutralen Ester, und ausserdem Ameisensäure und Spuren von freier Oxalsäure enthalten dürfte. 20 g Oxalsäure wurde nach dem Erkalten aus der Reaktionsmasse abfiltriert.

3. Schliesslich wurde noch ein Versuch mit 77 g Allylformiat und anderthalb Molen (124 g) entwässerte Oxalsäure, unter 10-stündigem Erhitzen im Wasserbade ausgeführt. Ausbeute 102 g Flüssigkeit.

Bei den Versuchen wurde erhitzt, so lange noch eine Gasentwicklung bezw. ein Kochen bemerkbar war.

Der saure Allyl-Ester der Oxalsäure wurde in folgender Weise isoliert: Die Lösung wird mit 2 %-ige Natronlange schwach alkalisiert, dann mit Äther umgeschüttelt, wobei der Neutralester entfernt wird. Zu der Lösung setzt man nachher verdünnte Schwefelsäure (1 : 5) und äthert dann den sauren Ester aus. Die Ätherlösung wird mit $CaCl_2$ getrocknet. Nach Verdunsten des Äthers bleibt der saure Ester, allerdings nur in roher Form, ölig zurück. Der Neutralester war nur in geringer enge vorhanden und wurde nicht weiter untersucht.

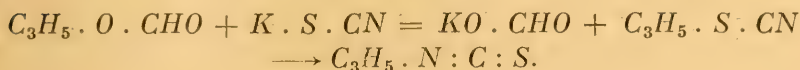
5. Neue Synthesen des Allylsenföls.

Ausser der unten erwähnten Bildung dieses Körpers aus dem saurem Allyloxalat, nach der Gleichung:



$$C_3H_5 . O . CO . CO . OH + KSCN =$$
$$S:C:N . C_3H_5 + KO . CO . CO . OH,$$

eine Reaktion, die wahrscheinlich unter Umlagerung primär entstandenen Rhodanats zu Stande kommt, erhält man das Allylsenföl sehr leicht auch aus Allylchlorid und Rhodankalium. Auch hier wird die Reaktion durch dieselbe Umlagerung wie oben vermittelt. Das Allylchlorid setzt sich zunächst beim Stehen bei Zimmerwärme während 4 Tage mit dem in Alkohol aufgelöstem Rhodankalium um:



$$C_3H_5 . O . CHO + K . S . CN = KO . CHO + C_3H_5 . S . CN \longrightarrow C_3H_5 . N : C : S.$$

Nachher wird das gebildete Rhodanallyl, nach der zuerst von G e r l a c h [1]) beobachteten Umwandlung, durch Kochen der alkoholischen Lösung in Senföl übergeführt.

a) *Allylsenföl aus saurem Allyloxalat.*

1) 4 g (1 Mol) des oben erwähnten sauren Oxalsäureallylesters (des Rohproduktes) und 3.6 g (1 $^1/_5$ Mol) Rhodankalium, in etwa 5 g Wasser gelöst, wurden eine halbe Stunde unter Rückfluss gekocht. Während der Operation krystallisiert saures Kaliumoxalat in grossen tafelförmigen Krystallen aus. Diese werden abfiltriert, und das im Filtrate als dunkle Schicht vorhandene Senföl mit Wasserdampf überdestilliert. Kleinere Mengen harzartiger Körper entstehen gleichzeitig.

Der Versuch wurde mit 7.1 g saurem Oxalat, 6.4 g Rhodankalium und 9—10 g Wasser wiederholt und 1 Stunde lang gekocht. Etwas Schwefelwasserstoff wird dabei immer entwickelt. Die Dampfdestillate der beiden Versuche wurden zusammen verarbeitet, d. h. das Öl wird mit Äther entzogen, mit verd. Natronlauge und Wasser gewaschen. Von der mit $CaCl_2$ getrockneten Lösung wird der Äther verdampft und der Rückstand destilliert. Das Senföl wurde beim Destillieren bei 150 bis 165° aufgenommen und wog 1.5 g. Ausbeute also 17 %.

[1]) Ann. d. Chemie **178**, 85 (1875).

2. Ein Gemisch von 14.3 g saurem Allyloxalat, 12.8 g Rhodankalium und 7.5 g Wasser wurde an einer warmen Stelle während anderthalb Wochen stehen gelassen. Das dabei fein krystallinisch ausfallende Kaliumoxalat wurde abfiltriert und 1 Stunde auf dem Wasserbade erhitzt, dann mit Dampf destilliert. Die Behandlung fand wie oben statt. Ausbeute 2 g Senföl.

3. Der erste Versuch wurde mit 92 g Ester, 82.4 g Rhodankalium und etwa 50 g Wasser wiederholt; es wurde etwa 1 Stunde auf dem Wasserbade erhitzt. Ausbeute etwa 10.5 g oder 14.9 %.

Die Ausbeute ist, wie ersichtlich, nur mässig. Die Reaktion beansprucht aber ihrer Eigenartigkeit halber einiges Interesse.

Analyse des Allylsenföls: 0.2087 g gaben 0.4972 g $BaSO_4$, woraus 0.068305 g S.

Berechnet für C_4H_5NS $S = 32.32$ %; gefunden 32.66 %.

Versuche zur Darstellung von Äthyl-bezw. Benzylsenföl aus den sauren Oxalaten, welche ähnlich aus Äthyl-bezw. Benzylalkohol dargestellt wurden, wie oben das saure Allyloxalat, hatten keinen sichtbaren Erfolg, *weshalb das Gelingen der Reaktion in der Allylreihe auf die Eigenartigkeit des Allylradikals zurückzuführen sein dürfte.*

b) *Allylsenföl aus Allylchlorid.*

Versuch 1. 6 g (1 Mol) Chlorid und 9.1 g (1 $^1/_5$ Mol) Rhodankalium, im 30 g 85-proc. Alkohol aufgelöst, wurden an einer warmen Stelle stehen gelassen, so lange (2—3 Tage) noch Kaliumchlorid auskrystallisierte. Beim Filtrieren wurden von letzterem 5.9 g erhalten, berechnet 6.5 g. Das Filtrat wurde auf dem Wasserbade ½ Stunde unter Rückfluss gekocht. Dabei findet die Umwandlung des Allylrhodanids in das isomere Allylsenföl statt (s. o.). Nach dem Abdestillieren des Alkohols wird Wasser zugesetzt, nach Zugabe von Kochsalz ausgeäthert, und die Lösung mit $CaCl_2$ getrocknet. Erhalten wurden 4 g, berechnet 7.8 g. Ausbeute 51 %.

Versuch 2. 25.8 g Allylchlorid, 39.25 g *KSCN*, 94 g Alkohol von 85 %. Bearbeitung wie oben. Das ausgeätherte Produkt wurde destilliert, und das bei 145—170° übergehende aufgehoben. Ausbeute 20 g (60 %).

Versuch 3. 44 g Chlorid, 66.9 g *KSCN* und 164 g 85 % Alkohol wurden ohne Stehen eine Stunde lang unter gut wirkendem Kugelkühler gekocht. Verarbeitung wie oben. Erhalten 36.5 g. Ausbeute 64.1 % der berechneten Menge.

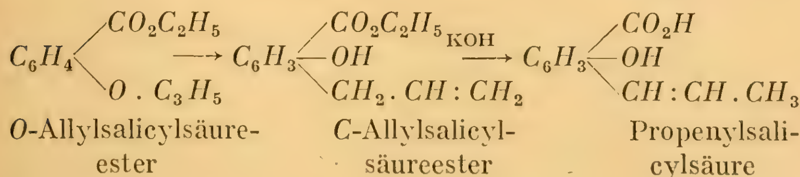
Versuch 4. 30 g Chlorid, 39 g *KCN* und etwa 100 g Alkohol wurde 1 ¾ Stunde auf dem Wasserbade vorsichtig gekocht. Sonst wie oben. Ausbeute 25.9 g oder 66.8 %.

Bei den letzteren Versuchen ging das Senföl ziemlich konstant bei 150—155° über. Sein Siedepunkt liegt bei 150.7°.

Analyse: 0.2402 g gaben 0.5632 g $BaSO_4$, woraus S = 0.077371. Berechnet für $C_3H_5, N : CS$ 32.32 % S; Gefunden 32.21 %.

6. Einige Allylverbindungen der Benzolreihe. Synthese eines Isomeren des Anethols [1]).

Ende des Jahres 1912 erschein eine Mitteilung von L. Claisen [2]), worin er den interessanten Nachweis führte, dass die Allyläther des α-Naphtols, des Guajacols und des Salicylsäureesters beim Überhitzen bezw. Destillieren in die isomeren, im Benzolkern allylierten freien Phenole sich umlagern, die fernerhin beim Zusammenschmelzen mit Ätzkali in die betreffenden Propenylphenole übergehen: z. B.:



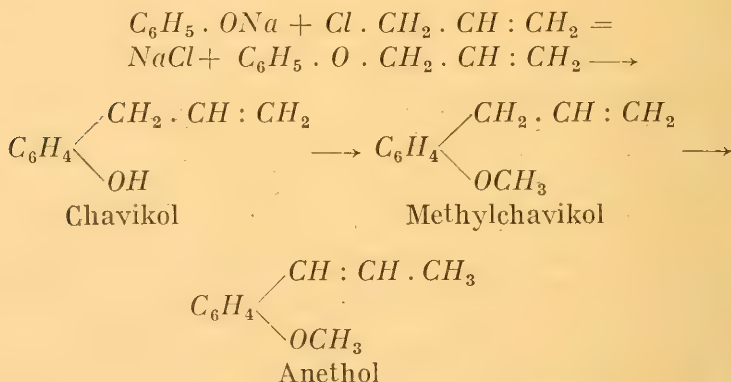
O-Allylsalicylsäureester — *C*-Allylsalicylsäureester — Propenylsalicylsäure

[1]) Dieser Teil der vorliegenden Untersuchung wurde schon Ende 1912 von Herrn Mag. Phil. E. S. Tomula experimentell bearbeitet.

[2]) Ber. d. deutsch. chem. Ges. 45, 3157 (1912).

Offenbar findet hier, jedoch bei viel niedriger Temperatur(200—220°), der ähnliche Vorgang statt, wie bei dem von A. W. Hofmann aufgefundenen »Wandern» der Alkyle aus einer Aminogruppe in den Kern.

Diese Mitteilung veranlasste mich zu untersuchen, wie sich der Allyläther des gewöhnlichen Phenols, $C_6H_5 . O . C_3H_5$, bei höherer Temperatur verhalten würde. Claisen hatte damals noch nicht ermittelt, in welche Stellung am Benzolkerne die Seitenkette bei dieser Umlagerung eintritt. Wenn die *p*-Stellung in Betracht käme — so dachte ich mir, so würde man aus dem Allyläther des Phenols zum Chavikol, sowie durch Umlagerung des Methyläthers desselben, des bekannten Methylchavicols, in die Propenylverbindung, zu dem technisch wertvollen Anethol gelangen; folgende Formelreihe veranschaulicht diesen Gedankengang:



a) *Phenolallyläther*, $C_6H_5 . O . CH_2 . CH : CH_2$

Wenn man auf trocknes Natriumphenolat Allylchlorid einwirken lässt, so ist die Bildung des Äthers nur minimal. In Gegenwart von Äthylalkohol steigt sie auf etwa 30 %. Stellt man aber das Natriumphenolat durch Zugabe der berechneten Natriumäthylatmenge zu der dreifachen theoretischen Phenolmenge dar, wobei also das Natriumphenolat in überschüssigem Phenol aufgelöst wird, so steigt die Ausbeute über 70 %.

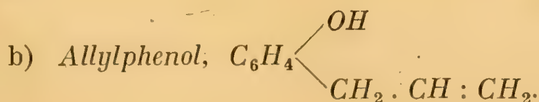
Es wurden 76.5 g (1 Mol) Allylchlorid zu einer aus 232 g (3 Molen) Phenol und 23 g (1 Mol) vorher in etwa 200 g absolutem Alkohol gelösten Natriums bereiteten Mischung in der Kälte unter guter Kühlung gegeben. Die sofort eintretende Reaktion liess man über Nacht ohne Erwärmen fortgehen; nachher wurde ein Paar Stunden zum Sieden erwärmt. Nach dem Filtrieren und Abdestillieren des Alkohols wurde das überschüssige Phenol mit Alkali entfernt. Der erhaltene ungelöst gebliebene Äther siedete in folgender Weise:

1. 180—185° 0.5 g (Phenol)
2. 185—189° 7.5 » (Phenol und sein Allyläther)
3. 189—194° 81.0 » (Phenolallyläther)
4. 194—208° 10.3 » (z. T. schon in Allylphenol umgewandelter Allyläther).

Die Dichte der Fraktion 3) war $d\,^{20}_{20} = 0.9925$, $d\,^{20}_{4} = 0.9941$. Die Analyse ergab:

Berechnet für $C_9H_{10}O$:		Gefunden:
C	80.60 %	80.44 %
H	7.45 »	7.32 »

Der schon früher bekannte Allylphenyläther siedet bei 190—192°, und erleidet dabei schon teilweise die erwähnte Umlagerung.



Die Fraktionen 2—4 wurden in Einschmelzrohr 6 Stunden lang auf 215—220° erhitzt. Vorversuche, die bei höherer Temperatur ausgeführt worden waren, hatten gezeigt, dass schon bei 230° ein nicht unerheblicher Teil der Allylverbindung zu einem dicken Polymerisationsprodukt kondensiert

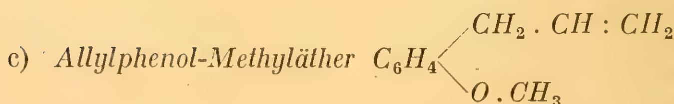
worden war. Bei der Destillation des auf 215—220° erhitzten Produktes wurde erhalten:

1.	Bis 210°	2.0 g
2.	210—225°	89.1 »
3.	225—240°	5.0 »

Der grosse Siedepunktsintervall liess zunächst vermuten, dass zwei Umlagerungsprodukte entstanden wären. Bei der systematischen fraktionierten Destillation stellte sich jedoch heraus, dass ausser hoch siedenden Kondensationsprodukten nur eine bei 213—226° siedende Fraktion des Allylphenols [1]) erhalten wurde, dessen Dichte $d^{20}_{20} = 1.0225$ bezw. $d^{20}_{4} = 1.0242$ betrug.

Analyse:

Berechnet für $C_9H_{10}O$:	Gefunden:
C 80.60 %	80.75 %
H 7.45 »	7.40 »


c) *Allylphenol-Methyläther* $C_6H_4\langle{}^{CH_2 . CH : CH_2}_{O . CH_3}$

15 g Allylphenol wurden mit einer Lösung von 2.57 g Natrium in der zehnfachen Menge absolutem Alkohol aufgelöst, 16.14 g Methyljodid zugegeben und 4 Stunden im Ölbade erhitzt. Das Natriumjodid wurde abfiltriert, das mit Wasser versetzte Filtrat mit 20 % Kalilauge versetzt und nachher der Methyläther mit Äther entzogen. Das Hauptprodukt siedete bei 195—205° und wog 12 g oder 72 % der Theorie. — Ein zweiter Versuch mit denselben Mengen lieferte 13.5 g bei 199—205° siedenden Allylphenolmethyläther oder 81 %.

---

[1]) Nach gütiger Privatmitteilung von L. Claisen liegt der Siedepunkt des reinen Allylphenols sehr konstant bei 220°—220,5°.

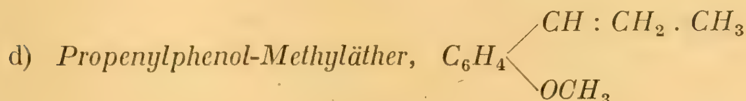
Die vereinigten Produkte der beiden Versuche wurden mehrmals von Neuem destilliert. Der Siedepunkt lag schliesslich bei 202—204°. Die Dichte war: $d_{20}^{20} = 0.9735$; $d_{4}^{20} =$ 0.9750. Der Körper wurde nochmals im Vakuum überdestilliert, worin er ganz konstant siedete. Analyse:

Berechnet für $C_{10}H_{12}O$:	Gefunden:	
C 81.08 %;	81.03 %;	81.15 %
H 8.11 »	7.99 »	8.01 »

Ein dritter Versuch wurde mit 89 g Allylphenol, 95 g Methyljodid, 15.4 g Natrium und 154 g absolutem Alkohol wie oben ausgeführt. Von dem Produkt siedeten

bei	198—205°	75 g
»	205—210	7.5 »

Die Fraktion 198—205° wurde wieder von neuem destilliert. Die Hauptmenge, welche bei 202—204° sott, wurde zur Darstellung des folgenden Körpers benutzt.



d) *Propenylphenol-Methyläther*, $C_6H_4 \begin{cases} CH : CH_2 . CH_3 \\ OCH_3 \end{cases}$

Um die beabsichtigte Verschiebung der Äthylenbindung der Seitenkette zu bewirken (vergl. S. 19), wurde in folgender Weise verfahren:

15 g des voran erwähnten Allylphenol-Methyläthers wurden im zugeschmolzenem Rohr mit der achtfachen Menge 15-proz. alkoholischer Kalilauge 6 Stunden lang auf 125° erhitzt. Das isolierte und getrocknete Produkt zeigte nach zweimaligem Fraktionieren den Siedepunkt 218—222°. Der Versuch wurde mit 28 g des Allylphenol-Methyläthers und 225 g alkoholischem Kali wiederholt. Von der erhaltenen Verbindung siedeten 17 g bei 216—225°. Die vereinigten Produkte destillierten beim weiteren Fraktionieren konstant

bei 219—221°, welche Temperatur also den Siedepunkt des Propenylphenol-Methyläthers darstellte. Sein Geruch erinnert gar nicht an den des Anethols, des para-Propenylphenol-Methyläthers, sondern ist schwach, und nicht unangenehm pfefferartig. Die Dichte beträgt für $d\,^{20}_{20} = 0.9879$, für $d\,^{20}_{4} = 0.9890$, und die Analyse ergab [1]):

Berechnet für $C_{10}H_{12}O$:	Gefunden:
C 81.08 %	81.23 %
H 8.11 »	8.01 »

Das bei der Behandlung mit alkoholischem Kali hier, wie bei anderen Benzolkörpern mit einer Allyl-Seitenkette, der Allylrest in den Propenylrest verwandelt worden ist, geht aus der beträchtlichen Steigerung des Siedepunktes von 202—204° bei dem Allylphenol-Methyläther auf 219—221° bei dem Propenylphenol-Methyläther, sowie aus der Erhöhung der Dichte, z. B. bezüglich die Konstante $d\,^{20}_{4}$ von 0.9750 auf 0.9890, sicher hervor. Nach Claisen, der in seiner ausführlichen Abhandlung [2]) eine ganze Menge solcher Umlagerungen ausführte, geht die Allylgruppe in die o-Stellung an den Benzolkern ein.

e) *Feststellung der Konstitution der vorerwähnten Körper.*

Da das p-Allylphenol (*Chavikol* im Betelöl) bei 237°, der Methyläther desselben, das *Methylchavikol* (*Estragol*) aus Estragonöl und anderen ätherischen Ölen [3]), bei 215—216° sowie das *Anethol* oder p-Propenylphenol-Methyläther bei 232° siedet, wogegen die Siedepunkte der im vorigen beschriebenen analogen Substanzen bei etwa 220°, 202—204°

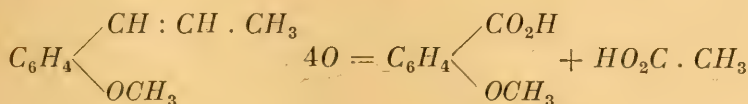
---

[1]) Leider sind die anderen Analyszahlen mit Ausnahme der prozentischen Resultate bei dieser wie bei den anderen Analysen der vorliegenden Reihe von Körpern verloren gegangen.

[2]) Ann. d. Chem. **401**, 35 (1913) sowie Privatmitteilung.

[3]) So kommt das Methylchavikol in reichlicher Menge in dem oberhalb 200° seidenden Anteil des amerikanischen Terpentinöles vor.

bezw. 219—221° liegen, so war die Seitenkette bei der Wanderung des Allylradikals vom Phenolsauerstoff in den Benzolkern nicht in para-Stellung sondern wahrscheinlich in die ortho-Stellung, da solche Umlagerungen ohne Ausnahme entweder ortho- oder para-Verbindungen entstehen lassen, eingetreten. Um darüber zu entscheiden, wurde der erhaltene Propenylphenol-Methyläther einer Oxydation mit Salpetersäure bezw. Chromsäure unterzogen. Die Absicht war, die Seitenkette an der Äthylenbindung zu sprengen, also die Propenylgruppe bis zum Karboxyl abzubauen:



$$C_6H_4\langle{}^{CH:CH.CH_3}_{OCH_3} \quad 4O = C_6H_4\langle{}^{CO_2H}_{OCH_3} + HO_2C.CH_3$$

Mit mässig verdünnter Salpetersäure entstand aber eine Nitrosäure vom Schmelzpunkt 119—120°, die bei der kleinen Menge nicht identifizierbar war.

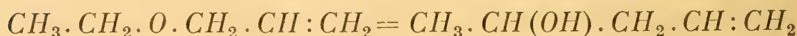
Es wurden deshalb 0.5 g der Propenylverbindung mit einer auf 50° vorgewärmten Mischung von 2.5 Kaliumbichromat, 10 ccm Wasser und 5 g konz. Schwelsäure geschüttelt, bis die Lösung rein grün geworden war. Das mit Äther extrahierte Produkt wurde in Ammoniak gelöst, die abfiltrierte Lösung eingeengt und mit Salzsäure angesäuert. Es krystallisierte eine farblose Säure in Blättchen aus, die bei 98—99° schmolzen. Denselben Schmelzpunkt zeigt die Methyläthersalicylsäure $C_6H_4\langle{}^{CO_2H}_{OCH_3}$, während die meta-Verbindung bei 106—107° schmilzt. Folglich war die Allylgruppe in die ortho-Stellung gewandert.

Diese Untersuchung wurde den 11 Juni 1913 beendigt. Um Kollision mit Hrn Kollegen Claisen zu vermeiden, teilte ich ihm obige Resultate vor einer Publikation in darauf folgendem Sommer mit [1]). In einem den 14 September 1913 datierten Antwortschreiben gab er dem Wunsche Ausdruck, ich möchte meine Publikation zurückstellen, womit ich mich völlig einverstanden erklärte, und zwar weil er besonders Gewicht darauf lege, die Untersuchung über diesen einfachsten durch Umlagerung erhaltenen Allylkörper möglichst eingehend und sorgfältig untersuchen und die Resultate in einer demnächst zu publizierenden Arbeit zusammenstellen zu können. In einem etwas späteren Schreiben vom 23 Sept. 1913 teilte er ferner mit, dass jene Abhandlung in etwa 3 Wochen erscheinen würde. — Meines Wissens ist jedoch keine weitere diesbezügliche Publikation seitdem erscheinen.

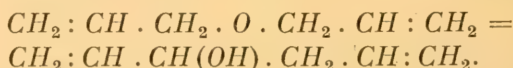
Wie aus Obigem ersichtlich, gelang die angestrebte Synthese des Chavikols bezw. Anethols auf dem betretenen Wege nicht.

7. Über Allyläthyläther und Diallyläther.

Bei der im vorigen Kapitel erläuterten, leicht eintretenden Wanderung des Allylgruppe des Allylphenol-äthers in den Benzolkern, entstand der Wunsch, festzustellen, ob nicht eine ähnliche Umlagerung auch in der aliphatischen Reihe zu Stande kommen könnte. Als Objekte dafür wählte ich einerseits den Äthylallyläther und, als noch geeigneter, den Diallyläther. Falls die betreffende Isomerisation stattfindet, hätte man folgende Umlagerungen zu erwarten:



$$CH_3 . CH_2 . O . CH_2 . CH : CH_2 = CH_3 . CH(OH) . CH_2 . CH : CH_2$$

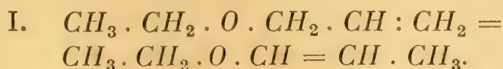


$$CH_2 : CH . CH_2 . O . CH_2 . CH : CH_2 =$$
$$CH_2 : CH . CH(OH) . CH_2 . CH : CH_2 .$$

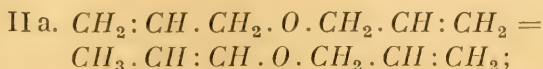
---

[1]) Kurz darauf erschien Claisens ausführliche Abhandlung in den Annalen **401,** 21 (1913). Derselbe führt auch selbst darin Beweise (S. 73) dafür vor, dass das von ihm in anderer Weise, nämlich durch CO_2-Abspaltung aus der 3-Allylsalicylsäure, dargestellten Allylphenol ein ortho-Derivat ist.

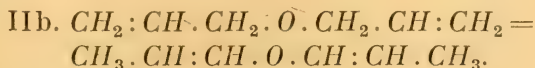
In beiden Fällen könnte event. ausserdem eine Wanderung der Äthylenbindung stattfinden:



I. $CH_3 . CH_2 . O . CH_2 . CH : CH_2 =$
$CH_3 . CH_2 . O . CH = CH . CH_3$.



IIa. $CH_2 : CH . CH_2 . O . CH_2 . CH : CH_2 =$
$CH_3 . CH : CH . O . CH_2 . CH : CH_2$;



IIb. $CH_2 : CH . CH_2 . O . CH_2 . CH : CH_2 =$
$CH_3 . CH : CH . O . CH : CH . CH_3$.

Ich hebe nun vorgreifend hervor, dass keine von diesen Umvandlungen beobachtet werden konnte. Trotzdem möchte ich auch über diese Versuche kurz berichten, wiel sie sonst von erheblichem Interesse sind.

a) *Äthylallyläther.*

Dieser Körper ist seit längerer Zeit bekannt und wurde zuerst von Brühl[1]) dargestellt. Nach ihm zeigte er den Siedep. 66—67° und die Dichte $d\,^{20}_{4} = 0.7651$.

Nachdem ein Vorversuch gezeigt hatte, dass Allylchlorid nicht bei gewöhnlicher Temperatur auf Natriumäthylat einwirkt, wurde das Allylhalogen mit dem Alkoholat in alkoholischer Lösung 3 Stunden lang gekocht. Der mit Kochsalzlösung abgeschiedene und fraktionierte Verbindung sott bei 64.5—66° und zeigte das sper. Gew. $d\,^{20}_{4} = 0.7618$. Molrefraktion *MR* bei 22° 26.67; berechnet 26.47.

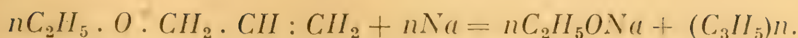
Die Umlagerung wurde zuerst in Gegenwart von in Sprit gelöstem Kali bei 130—140° während 18 Stunden vorgenommen, wobei keine Umlagerung nachweisbar war. Auch beim trocknen Erhitzen auf 200° und zuletzt auf 240° konnte sie nicht beobachtet werden. Bei allen Versuchen stieg der Siedepunkt gegen Ende des Fraktionierens auf etwa 70°. Da aber auch die letzten Anteile des nicht erhitzten Äthylallyläthers bei derselben Temperatur übergingen, konnte eine

[1]) Ann. d. Chem. **200**, 178 (1880).

Umlagerung nicht oder wenigstens nicht sicher nachgewiesen werden.

Einwirkung von Natrium auf Äthylallyläther. Zur Reinigung des Äthers wurde dieser u. A. über Natrium destilliert. Hierbei wurde gefunden, dass sich das Metall mit einer braunen Schicht bedeckte, die sich immer vermehrte. Aus diesem Grunde wurde eine gewisse Menge des reinen Äthers (3 Tle) mit dem Metalle (1 Tl) in einem Bombenrohr eingeschlossen und 7 Stunden auf 220° erhitzt. Das Rohr enthielt nunmehr keine Flüssigkeit sondern war mit einer grauen, festen und anscheinend trocknen Masse gefüllt. Nach dem Erkalten öffnete sich das Rohr ohne Druck. Die grössten rückständigen Natriumstücke wurden mechanisch entfernt, und die Masse in Wasser gelöst, worauf eine Dampfdestillation vorgenommen wurde. Dabei gingen kleinere Mengen eines Öls und gleichzeitig eine in Wasser leicht lösliche Flüssigkeit über, die im Kühler ölige Streifen bildete. Diese erwies sich als gewöhnlicher Alkohol. Als nämlich ein Drittel der wässrigen Flüssigkeit abdestilliert und mit Jod und Natronlange in der Kälte behandelt wurde, trat ein deutlicher Jodoformgeruch auf, und der bald entstehende lichtgelbe Niederschlag krystallisierte in den leicht erkenntlichen sechsseitigen Tafeln des Jodoforms vom Schmelzp. 120°. Es war also Äthylalkohol entstanden.

Ein Versuch zur Erklärung dieser eigentümlichen Zersetzung des Allyläthyläthers durch Natrium führt zu der Annahme, dass diese Reaktion unter Auflösung der relativ losen Bindung des Allyls mit Sauerstoff stattfindet. Das Natrium sozusagen verdrängt die Allylgruppe von dieser Bindung und nimmt ihren Platz unter Bildung von Natriumäthylat ein. Das frei auftretende Allylradikal kondensiert sich wahrscheinlich zu Diallyl resp. noch höher molekularen Kohlenwasserstoffen, die in der mit den Wasserdämpfen übergehenden öligen Flüssigkeit, deren nicht einheitliche Natur keine sichere Identifizierung der Bestandteile zuliess, vorhanden zu sein scheinen. Wollte man diese Annahme durch eine Formel ausdrücken, so käme man zu dem Schema:



$$nC_2H_5 . O . CH_2 . CH : CH_2 + nNa = nC_2H_5ONa + (C_3H_5)n.$$

Eine andere Annahme, nämlich dass das Metall Wasserstoff an der Allylgruppe ersetzen würde, und dass diese Verbindung später durch das Wasser in Alkohol und Kondensationsprodukten zerfiele, ist viel komplizierter als die obige. Wir geben daher der oben formulierten Erklärung den Vorzug. Sie steht auch mit der neulich seitens v. Brauns und Köhlers[1]) besonders klar ausgesprochenen Neigung der Allylgruppe und anderer mit ihr analog gebauten Radikale, die für sie charakteristische lockere Bindung mit Sauerstoff, Stickstoff und anderen negativen Atomen leicht aufzulösen. Bei dem Äthylallyläther findet also die Wanderung der Allylgruppe in die Äthylgruppe, welche Möglichkeit nach Obigem (vergl. S 26) festzustellen war, beim Erhitzen für sich nicht statt. Erst wenn das stark positive Natriumatom seine stärkere Affinität zum Sauerstoffatom ausübt, tritt die Loslösung der Allylgruppe, aber unter völliger Abspaltung der Verbindung, ein.

b) *Diallyläther*, $(CH_2 : CH . CH_2)_2O$.

Die Untersuchung der Umlagerungsfähigkeit dieses Äthers in dem ebenfalls früher (vergl. oben S. 27) formulierten Sinne hat mir unerwartete Schwierigkeiten bereitet, und zwar weil der ziemlich leicht reagierende Diallyläther nur schwer in reinem Zustande zu erhalten ist.

Der Diallyläther wurde zuerst von Berthelot und de Luca[2]) aus Allyljodid, durch Einwirkung von Quecksilberoxyd auf demselben, dargestellt. Cahours und Hofmann[3]) erhielten ihn ausserdem durch Auflösen von Natrium in Allylalkohol und Einwirkung von Allyljodid auf das Produkt. Es wird als eine rettigartig riechende Flüssigkeit von Siedep. 92° und $d_{18} = 0.8046$ beschrieben.

---

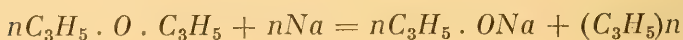
[1]) Berichte d. deutsch. Chem. Ges. **51**, 79 (1918).

[2]) Ann. chem. phys. [3] **46**, 291.

[3]) Ann. d. Chem. **102**, 285 (1857).

Nachdem die Einwirkung von Allylchlorid auf Quecksilberoxyd unter Zusatz von einem Spur Jod als Katalysator auch beim Erhitzen im zugeschmolzenem Rohr auf 125—135° nicht gelang, wurde der Diallyläther aus Allyljodid und Quecksilberoxyd, event. unter Zusatz von einigen Prozenten Silberoxyd, dargestellt. Es gelang mir indess niemals ein konstant siedendes Produkt zu erhalten, sondern ging das meiste zwischen 88—96.5° über. Folgende eigentümliche Beobachtung wurde bei einem Versuche, das Rohprodukt zu reinigen, gemacht. Um das Jod zu entfernen, wurden 20 g der Flüssigkeit mit 2.5 g metallischem Natrium gekocht. Nach einer Stunde war der Kolben mit einem lichtbraunen festen und, wie es schein, trocknen Masse gefüllt. Bei weiterem Erhitzen ging eine kleinere Menge einer bei 64—79° siedenden Flüssigkeit über. Die zurückgebliebene Natriumverbindung (14 g) wurde an der Luft feucht und erhitzte sich unter Dunkelwerden und Verbreiten eines starken Geruchs an Allylalkohol. Eine kleinere Menge zündete sich sogar vom selbst an. Die Hauptmenge wurde vorsichtig in Eiswasser gebracht, wobei eine ölige Flüssigkeit auf die Oberfläche erschien und der Allylalkoholgeruch wieder kraftig hervortrat.

Offenbar hatte man wieder hier mit einer ähnlichen Reaktion zu tun, die oben für den Äthylallyläther formuliert wurde. Das Natriumatom hätte die eine Allylgruppe von dem Sauerstoff losgelöst und wäre an ihrer Stelle zum Allylalkoholat getreten. Die abgeschiedene Allylgruppe hatte sich polymerisiert bezw. kondensiert. Folgende schematische Darstellung des Vorganges



$$nC_3H_5 . O . C_3H_5 + nNa = nC_3H_5 . ONa + (C_3H_5)n$$

erläutert indess nicht den ganzen Tatsachenbestand, indem auch sauerstoffhaltige Nebenprodukte entstehen. Als nämlich die in Wasser unlösliche Schicht mit Äther isoliert und destilliert wurde, entstanden folgende Fraktionen, von denen der erste noch stark ätherhaltig war:

1) 47—70 2 g; 2) 70—90° 0.5 g; 3) 90—100° 0.5 g; 4) 100—150 g 2.5 g.

Beim erneutem Destillieren der Fraktion 4) traten folgende Fraktionen auf, welche die komplizierte Zusammensetzung des Kondensationsproduktes zeigten:

100—110°	0.1 g	150—160°	0.1 g
110—120°	0.2 »	160—170°	0.1 »
120—130°	0.3 »	170—190°	0.1 »
130—140°	0.5 »	190—210°	0.1 »
140—150°	0.3 »	210—230°	0.1 »
		230—260°	0.1 »

Die grösste, bei 130—140° siedende Fraktion, die $KMnO_4$ abfärbte und daher ungesättigt war, wurde analysiert:

1) 0.123 g gaben 0.336 g CO_2 und 0.1161 g H_2O;
2) 0.1897 » » 0.5124 » » » 0.1791 » »

Berechnet für $C_6H_{10}O$:	Gefunden:	
C 73.46 %	1) 74.50 %	2) 73.67 %
H 10.20 »	» 10.50 »	» 10.50 »

Die Fraktion, die kaum völlig einheitlich war, zeigte also die Zusammensetzung des Diallyläthers, bezw. eines damit isomeren Alkohols. Ein ungesättigter Alkohol von dieser Zusammensetzung ist von Westphal [1]) vom Glycerin ausgehend erhalten worden, mit dem Siedep. 140°. Ob nun die erwartete Wanderung des einen Allyls in das andere hinein bei dieser Natriumbehandlung zum kleineren Betrage tatsächlich stattgefunden hatte, bleibt indes bei der erhaltenen unbedeutenden Menge unentchieden. Ein Versuch, den Allyläther durch Erhitzen für sich auf 230° zu umlagern, führte nur eine Zersetzung herbei.

[1]) Ber. d. d. chem. Ges. 18, 2931 (1885).

Von erheblichem Interesse ist aber auch hier die leichte Loslösung des Allyls von Sauerstoff, ähnlich wie dies bei dem Äthylallyläther der Fall war (s. o.); die Reaktion findet schon bei etwa 100° statt.

Ferner ist hervorzuheben, dass die Bildung des Diallyläthers nur mit grosser Schwierigkeit und mit schlechter Ausbeute stattfindet. Dies sowie der Umstand, dass der Äther nicht durch Einwirkung von Allylchlorid auf Quecksilberoxyd erhalten werden kann, auch beim Erhitzen bis auf 135° nicht gelingt, zeigt dass eine gewisse Abneigung des Allylradikals, sich mit Sauerstoff zu verbinden, vorhanden ist. Dies steht wieder mit der vorerwähnten, seitens v. Brauns betonten leicht stattfindenden Loslösung des Allyls vom Sauerstoff in Übereinstimmung.

8. Über die Allylaniline.

Da in den aromatischen Phenolallyläthern die Loslösung der Allylgruppe von der Sauerstoffbindung und die Wanderung derselben zum Benzolkern eine unverkennbare Analogie mit der Bildung von höher homologen Anilinbasen durch Erhitzen von Alkylanilinsalzen auf höhere Temperatur zeigen, sollten die obigen Versuche ergänzt werden durch weitere, bei denen die Wanderungsfähigkeit der Allylgruppe in Allylanilin bezw. Diallylanilin studiert werden sollte.

Zunächst war es jedoch nötig, die Bildung und die Eigenschaften der beiden letztgenannten Basen besser kennen zu lernen. Es interessierte uns ferner, das Allylchlorid als Alkylierungsmittel beim Anilin zu studieren, besonders nachdem uns das grosse Reaktionsvermögen dieses Allylhalogens bekannt worden war.

In der Litteratur ist folgendes über die Allylaniline bekannt. Hugo Schiff giebt an[1]), dass er Allylanilin durch kurzes Erhitzen von Anilin mit Allyljodid auf 100° dargestellt habe. Dabei bildete sich eine leicht lösliche Krystallmasse, woraus mit Kali eine Flüssigkeit von der

---

[1]) Ann. d. Chemie Suppl. 3, 364 (1864).

Dichte 0.982 bei 25° abgeschieden wurde. Der Siedepunkt lag bei 208—209°, was sich als entschieden unrichtig gezeigt hat (s. u.). Die violette Farbenreaktion mit Chlorkalk deutet auch auf beigemengtes Anilin an. Später fand Zander[1]), dass eine äquimolekulare Mischung von Anilin und Allylbromid bei gewöhnlicher Temperatur unter Erwärmen reagiert und nachher zu einer Krystallmasse erstarrt, woraus Kali eine gelbe Flüssigkeit abscheidet, die bei etwa 220° siedet. Auf das so gebilde Produkt liess er wieder ein Molgewicht Allylbromid einwirken, wobei ebenfalls eine Krystallmasse entstand. Kali schied hieraus wieder eine dunkelgefärbte Flüssigkeit ab, deren Siedepunkt bei 243.5—244.5° lag und die Dichte 0.9538 bei 19.8° hatte. Als dritter hat Wedekind[2]) »Allylanilin» dargestellt, ohne den Siedepunkt anzugeben, und zwar bei gewöhnlicher Temperatur und unter Anwendung von Allyljodid. Die Ausbeute der in Vakuum destillierten und sich an der Luft bald braunfärbenden Base soll unzufriedenstellend gewesen sein.

Darstellung von Allyl- und Diallylanilin[3]).

Wie in anderen ähnlichen Fällen treten, wie folgende Verzuche zeigen, bei der Einwirkung von äquivalenten Mengen Allylchlorid auf Anilin sowohl Mono- wie Diallylanilin auf, und ein Teil des Anilins bleibt unverändert.

Versuch 1. 10 g Anilin und 8.5 g Allylchlorid zeigten beim Zusammenmischen keine Temperatursteigerung. Nach kurzer Zeit wurden gelbliche Krystalle eines Salzes abgeschieden, worin beim Titrieren mit Silbernitrat 27.4 % *Cl* zu finden waren und folglich aus Anilinhydrochlorid bestanden (ber. 27.46 %). Aus diesem Grunde wurde im

Versuch 2 die gleichen Mengen im zugeschmolzenem Rohr 5 Stunden lang im Wasserbade erhitzt. Das flüssige

---

[1]) Ann. d. Chem. **214**, 149 (1882).

[2]) Berichte d. deutsch. Chem. Ges. **32**, 521 (1899).

[3]) An der Ausarbeitung dieser Versuche hat Frau Stud. D. Sundblom teilgenommen.

Reaktionsprodukt wurde mit Natronlauge versetzt und mit Dampf destilliert, das Öl im Destillat mit Äther isoliert, mit Kali getrocknet (12 g erhalten) und fraktioniert. Es gingen über:

bei 200—208°	2.5 g
» 208—210°	1.5 »
» 210—220°	3.0 »
» 220—240°	3.0 »
Rückstand	2.0 »

Versuch 3. Nun wurde mit grösseren Mengen (100 g Anilin und 85 g Allylchlorid) und ähnlich wie im Versuch 2 gearbeitet. Das isolierte Basengemenge betrug 120 g und es destillierten

bei 182—208°	34 g
» 208—225°	14 »
» 225—240°	50 »
» 240—242°	9 »
Rückstand	13 »

Versuch 4. Da in den vorigen Versuchen ein relativ grosser Teil Anilin zurückgewonnen worden war, wurden jetzt 100 g Anilin und 100 g Allylchlorid angewandt. Nun wurden aus 130 g Rohprodukt folgende Fraktionen erhalten:

182—208°	4 g
208—225°	20 »
225—235°	60 »
235—240°	16 »
240—244°	8 »
Rückstand	22 »

Die Fraktionen 225—240° aus den beiden letzten Versuchen wurden noch 3-mal unter Anwendung eines 15 cm langen Fraktionierrohres mit Glasperlen destilliert. Der grösste Teil sott dann bei etwa 220° und 238—240° ziemlich

konstant. Zwischen 222 und 234° stieg die Temperatur ziemlich rasch.

Versuch 5. Um möglichst viel von dem Monoallylanilin zu erhalten, wurden jetzt wieder gleiche Mole der Ausgangsmaterialien (122 g Anilin und 100 g Allylchlorid) angewandt. Das rohe Produkt betrug 160 g und wurde 4-mal fraktioniert. Das Resultat daraus sowie aus der letzten Destillation der vereinigten Fraktion 225—240° der Versuche 3. und 4. geht aus folgenden Zahlen hervor:

	Versuche 3 und 4.	Versuch 5.			
	(Fraktion 225—240°)	Dest. 1:	Dest. 2:	Dest. 3:	Dest. 4
bis 200°	—	20.0 g	24.5 g	25.5 g	25.5 g
200—210°	—	7.5 »	4.5 »	4.5 »	4.5 »
210—218°	5 g	7.0 »	6.5 »	10.0 »	13.0 »
218—222°	15 »	15.5 »	20.5 »	25.5 »	28.5 »
222—226°	14 »	24.0 »	17.5 »	10.5 »	6.5 »
226—230°	5 »	39.0 »	15.5 »	10.0 »	4.5 »
230—234°	7 »	15.0 »	14.0 »	8.0 »	3.5 »
234—238°	37 »	16.0 »	16.5 »	13.5 »	10.0 »
238—242°	20 »	—	16.0 »	24.0 »	27.0 »
Rückstand	—	17 »	—	—	—

Schon aus diesen Zahlen ist ersichtlich, dass die beiden Hauptprodukte bei etwa 220 und 240° sieden.

Damit die Menge des Anilins möglichst klein werden soll, empfiehlt es sich, die Einschmelzröhre sofort nach dem Mischen des Anilins und Allylchlorids zuzuschmelzen sowie in das Wasserbad hineinzubringen.

Bei der Vakuumdestillation gingen die Hauptfraktionen 218—222° und 238—242° unter 15 mm Druck 1) bei 106—109° bezw. 2) bei 122—125° über. Die Analyse ergab:

Fraktion 1): 0.1554 g gaben 0.4620 g CO_2 und 0.1158 g H_2O;
0.1587 » » 14.0 ccm N von 19° und bei 775.5 mm Druck.

Fraktion 2): 0.1620 g gaben 0.4900 g CO_2 und 0.1245 g H_2O;
0.1792 » » 12.6 ccm N von 18° und 768 mm Druck.

1) Berechnet für $C_6H_5 . NH . C_3H_5$:	Gefunden:
C 81.10 %	C 81.08 %
H 8.28 »	H 8.39 »
N 10.42 »	N 10.54 »

2) Berechnet für $C_6H_5 . N(C_3H_5)_2$:	Gefunden:
C 82.50 %	C 83.17 %
H 8.57 »	H 8.72 »
N 8.23 »	N 8.11 »

Die beiden Fraktionen haben demnach die Zusammensetzung des *Monoallylanilins* bezw. *Diallylanilins*. Sie sind ölartige Flüssigkeiten, die an der Luft dunkel gefärbt werden. Sie riechen nach Jasminenöl. Ihre fysikalische Eigenschaften sind:

	Monoallylanilin:	*Diallylanilin:*
$d\ ^{20}_{4}$	0.9706	0.9570
Siedepunkt	218—222° (bei Luftdruck)	238—242° (bei Luftdr.).
»	106—109° (bei 15 mm)	122—125° (bei 15 mm).
Molrefraktion MR_D	44.06	57.55
Berechnet	43.97	57.36

Acetallylanilid, $C_6H_5 . N(C_3H_5) . CO . CH_3$. Aus der Base mit kochendem Essigsäureanhydrid; das Produkt wurde nach Zerlegung des Anhydrids mit Soda neutralisiert, mit Wasserdampf übergetrieben und nach dem Ausäthern destilliert. Die grösstenteils zwischen 255 und 265° siedende Verbindung erstarrte nach einiger Zeit. Weitere Versuche zeigten, dass auch das Rohprodukt, nach Zerlegen des Anhydrids in der Wärme mit Wasser und Neutralisieren mit Soda, erstarrte. Nach dem Pressen zwischen Fliesspapier und Umkrystallisieren aus Aceton unter Ausspritzen mit

Wasser oder aus Petroläther, wurden Blätter erhalten, die bei 44.5—45.5° schmelzen. Der Körper ist auch in reiner Salzsäure leicht löslich und scheidet sich wieder auf Wasserzusatz ab.

Analyse: 0.1523 g gaben 0.4171 g CO_2 und 0.0996 g H_2O,
0.1188 » » 0.3263 » » » 0.0779 » »
0.1561 » » 11 ccm N von 19° und 777 mm Druck.

Berechnet für $C_{11}H_{13}NO$:	Gefunden:	
C 75.37 %	1) C 74.65 %	2) C 75.00 %
H 7.48 »	H 7.28 »	H 7.31 »
N 8.02 »	N 8.31 »	N —

Bei der Verseifung mit alkoholischem Natron entsteht die ursprüngliche Base. Mit Alkalinitriten bildet die salzsäure Lösung der Base eine Nitrosoverbindung aber kein Phenol. Die Base ist also ein sekundäres Amin und nicht etwa eine bei der Darstellung bezw. beim Destillieren unter »Wandern» der Allylgruppe in den Benzolkern umgelagerte

primäre Base, $C_6H_4\begin{cases} NH_2 \\ C_3H_7 \end{cases}$.

Die Fraktion 238—242°, die wegen ihres hohen Siedepunktes, bei welcher Temperatur schon die Allyläther der meisten von Claisen untersuchten Phenole leicht umgelagert werden, könnte auch ihrerseits ein Produkt darstellen, worin der Allylrest nicht mehr seinen ursprünglichen Platz in der Aminogruppe, sondern in den Kern »gewandert» hätte. Dies liess sich nun leicht durch das Verhalten gegen Essigsäureanhydrid entscheiden. Dabei verhielt sich die Base vollkommen indifferent, woraus hervorgeht, dass sie tatsächlich aus Diallylanilin, $C_6H_5 . N(C_3H_5)_2$, besteht.

Beim längeren Erhitzen des Allyl- und Diallylanilins auf 250° konnte nur eine beginnende Verharzung, wohl unter

Polymerisierung, beobachtet werden, jedoch sind die Versuche in dieser Hinsicht nicht als beendigt zu betrachten. Eine Umlagerung konnte bisher nicht beobachtet werden.

9. Zusammenstellung der Resultate.

1. Es wurde gezeigt, dass in dem Allylformiat ein geeignetes und billiges Ausgungsmaterial für Allylalkohol und andere Allylverbindungen erhalten wird, wenn man das aus Glyzerin und 93—95 % technische Ameisensäure leicht entstehende Diformin einer Destillation bei etwa 190—260° unterzieht. Das Verfahren wird beschrieben.

2. Das Allylformiat eignet sich für die Denaturierung von Sprit besser, als der Allylalkohol, der den hauptsächlich wirksamen Bestandteil des zu Denaturierungszwecken angewandten rohen Holzgeistes darstellt, weil Allylformiat 5-mal weniger giftig (0.25 g von jenem entspricht 0.05 g von diesem) als Allylalkohol ist.

3. Das Allylformiat zeigt sich als eine besonders reaktive Verbindung, die das Allylradikal fast ebensoleicht wie das Allylbromid bezw. Allyljodid unter doppelter Zerlegung umsetzt.

4. Allylalkohol wird unter Anwendung von konz. Natronlauge bezw. breiartiger Kalkmilch in einer Ausbeute erhalten, die bis auf 85 % steigt. Da die gleiche Zerlegung dagegen nicht beim Kochen mit verdünnter Schwefelsäure (1 Vol.: 1 Vol.) gelingt, so dürfte die Reaktionsfähigkeit des Esters nicht auf seiner leichten Verseifbarkeit, sondern auf der ungesättigten Natur desselben beruhen.

5. Allylformiat tauscht das *Formoxyl, — O . CHO, gegen Chlor*, am leichtesten durch Einleiten von Chlorwasserstoff in den siedenden Ester in Gegenwart von Zinkchlorid, um. In ähnlicher Weise, wenn auch weit weniger ausgiebig, reagieren Brom- und Jodwasserstoff mit demselben Ester, sowie Chlorwasserstoff mit *Allylacetat*.

Hier liegt also eine neue Bildungsreaktion für aliphatische Halogenverbindungen vor. Ob sie auch bei anderen Estern

durchführbar ist, darüber müssen weitere Versuche, die im Gange sind, entscheiden.

6. Durch Einwirkung wasserfreier Oxalsäure auf Allylformiat wird das Formoxyl durch das einwertige *Oxaloxyl*-radikal, $— O . CO . CO . OH$, ersetzt. Es entsteht saures Allyloxalat, $C_3H_5 . O . CO . CO . OH$, und als Nebenprodukt in kleiner Menge das neutrale Diallyloxalat.

7. Allylchlorid setzt sich in alkoholischer Lösung mit Rhodankalium zunächst bei gewöhnlicher Wärme, während längeren Stehens, in Rhodanallyl um, das sich beim Kochen der Lösung in Allylsenföl übergeht. Letzteres wird in ähnlicher Weise durch Einwirkung von saurem Allyloxalat auf Rhodankalium gebildet. Auch diese Umsetzungen beruhen auf der eigenartigen chemischen Natur des Allylradikals.

8. Phenylallyläther, $C_6H_5 . O . CH_2 . CH : CH_2$, lagert sich nach der Reaktion von Claisen (Ann. d. Chemie *401*, 35 [1913]) beim Erhitzen auf 200—220° in o-Allylphenol, $C_6H_4\langle{}^{OH}_{CH_2 . CH : CH_2}$ um, dessen Methyläther, $C_6H_4\langle{}^{OCH_3}_{CH_2 . CH : CH_2}$, beim Erhitzen mit alkoholischem Kali auf 125° in o-Propenylphenol-Methyläther, $C_6H_4\langle{}^{OCH_3}_{CH : CH . CH_3}$, übergeht. Seine Konstitution wurde durch Oxydation zu der Methyläthersalicylsäure festgestellt.

9. Äthylallyläther, $C_2H_5 . O . CH_2 . CH : CH_2$, wird bei der Einwirkung von metallischem Natrium in eine feste, anscheinend trockne Masse verwandelt, die wahrscheinlich aus Natriumäthylat und Diallyl bezw. noch höher molekularen Polyallylenen besteht. Eine Wanderung der Allylgruppe in die Äthylgruppe durch Erhitzen war nicht nachweisbar.

10. Ähnlich wirkt Natrium auf den Diallyläther beim Kochen ein, unter Bildung einer an der Luft selbstentzündlichen Masse, die aus Natriumallylalkoholat und polymersiertem Allyl zu besteheh scheint.

11. Die wenig untersuchten Basen Allylanilin und Diallylanilin wurden unter Anwendung von Allylchlorid aus Anilin dargestellt, und ihre wichtigsten physikalischen Konstanten festgestellt. Vorläufige Versuche liessen vermuten, dass das Allylradikal in diesen Basen auch beim stärkeren Erhitzen nicht an den Benzolkern wandert. Eine genauere Untersuchung der Frage scheiterte bisher an die Verharzung der Basen bei höherer Temperatur.



Öfversigt af Finska Vetenskaps-Societetens Förhandlingar.
Bd. LXI. 1918—1919. Afd. A. N:o 9.

Über die Beziehung zwischen Anwachsen und Nullstellen der Zetafunktion.

Von

R. J. Backlund.

Bekanntlich ist für jedes feste σ

$$\mu(\sigma) = \limsup_{|t|=\infty} \frac{\log|\zeta(\sigma+it)|}{\log|t|}$$

eine endliche, nicht negative Zahl. Für $\sigma > 1$ ist $\mu(\sigma) = 0$, für $\sigma < 0$ ist $\mu(\sigma) = \frac{1}{2} - \sigma$. Für $0 \leqq \sigma \leqq 1$ hat Lindelöf[1]) bewiesen, dass $\mu(\sigma)$ eine stetige, konvexe Funktion ist, welche der Bedingung $\mu(\sigma) \leqq \frac{1-\sigma}{2}$ genügt. Gleichzeitig hat Lindelöf die Vermutung ausgesprochen, es sei $\mu\left(\frac{1}{2}\right) = 0$ und somit $\mu(\sigma) = 0$ für $\sigma \geqq \frac{1}{2}$, $\mu(\sigma) = \frac{1}{2} - \sigma$ für $\sigma \leqq \frac{1}{2}$.

Ich beweise im folgenden zwei einfache Sätze, welche diese Lindelöfsche Hypothese in Verbindung stellen mit der Anzahl $A(T)$ der Nullstellen der Zetafunktion in einem endlichen Gebiete

---

[1]) *Quelques remarques sur la croissance de la fonction* $\zeta(s)$ (Bulletin des Sciences mathématiques, Bd. 32, 1908).

$$(1) \qquad \begin{gathered} \frac{1}{2} + \delta \leqq \sigma \leqq 1, \\ T \leq t < T + 1, \end{gathered}$$

wo δ eine positive Zahl ist, die beliebig klein gewählt werden kann.

Die Existenz einer endlichen oberen Grenze von $\mu(\sigma)$ in jeder Halbebene $\sigma \geq \sigma_0$ lässt uns schliessen, dass die Anzahl der Nullstellen der Zetafunktion im Intervalle $T < t < T + 1$ gleich $O(\log T)$ ist. Landau[1]) hat dies mit Hilfe des Jensenschen Satzes bewiesen, und sogar für alle Dirichletsche Reihen der Form $\Sigma \frac{a_\nu}{\nu^s}$ in ihrer Konvergenzhalbebene. Wenn die Richtigkeit der Lindelöfschen Hypothese vorausgesetzt wird, so wird das Ergebnis der Landauschen Methode, dass $A(T) = o(\log T)$ ist (Satz 1). Obgleich nicht ausdrücklich hervorgehoben, gibt dieser Satz, als gleich einzusehende Modifikation des Landauschen Satzes, natürlich nichts eigentlich neues.

Bemerkenswerter ist, dass auch die Umkehrung dieses Satzes richtig ist (Satz 2). In dieser Richtung hat ja Littlewood[2]) bewiesen, dass wenn die Riemannsche Vermutung, $\zeta(s) \neq 0$ für $\sigma > \frac{1}{2}$ und also $A(T) = 0$, wahr ist, so ist auch die Lindelöfsche Vermutung wahr. Der Nachweis, dass diese Vermutung auch unter den weniger weitgehenden Voraussetzungen des Satzes 2 richtig bleibt, gelingt auch durch den Beweisgang von Littlewood, wenn dieser, statt direkt auf die Funktion $\zeta(s)$, auf eine geeignete Hilfsfunktion angewendet wird.

---

[1]) *Über die Nullstellen Dirichletscher Reihen* (Sitzungsberichte der Kgl. Preussischen Akademie der Wissenschaften, Bd. 41, 1913).

[2]) *Quelques conséquences de l'hypothèse que la fonction $\zeta(s)$ de Riemann n'a pas de zéros dans le demi-plan $R(s) > \frac{1}{2}$* (Comptes rendus, Bd. 154, 1912, S. 263—266).

Satz 1. Wenn $\mu\left(\frac{1}{2}\right) = 0$ ist, so ist $A(T) = o(\log T)$ für jedes beliebig kleine δ.

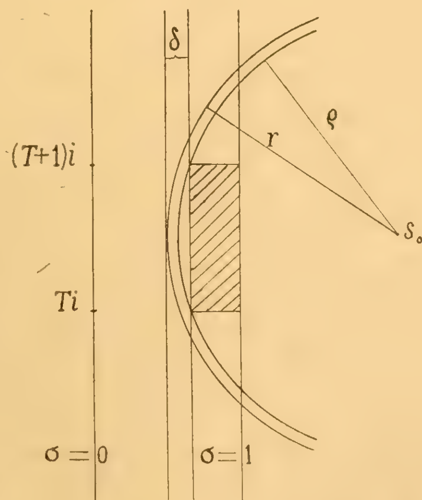
Wir setzen $s_0 = \sigma_0 + \left(T + \frac{1}{2}\right) i$ und wählen σ_0 so, dass der Kreis $|s - s_0| = \varrho = \sigma_0 - \frac{1}{2} - \frac{\delta}{2}$ durch die Punkte $\frac{1}{2} + \delta + Ti$ und $\frac{1}{2} + \delta + (T+1)i$ geht. Mit demselben Mittelpunkte und dem grösseren Halbmesser $r = \sigma_0 - \frac{1}{2}$ ziehen wir einen zweiten Kreis, der also die Gerade $\sigma = \frac{1}{2}$ berührt.

Die Nullstellen der Zetafunktion im Gebiete (1) seien $s_1, s_2, \ldots, s_n$. Wir bilden die Funktion

$$k(s) = \prod_{\nu=1}^{n} \frac{r^2 - \overline{(s_\nu - s_0)}(s - s_0)}{r(s - s_\nu)}, \tag{2}$$

wo $\overline{s_\nu - s_0}$ die zu $s_\nu - s_0$ konjugierte Zahl bezeichnet. Für $|s - s_0| = r$ ist $|k(s)| = 1$. Wenn

$$f(s) = k(s)\,\zeta(s) \tag{3}$$



gesetzt wird, so ist dann auf dem Kreise $|s - s_0| = r$ nach unserer Voraussetzung

$$|f(s)| = |\zeta(s)| < T^{\varepsilon},$$

wo die positive Zahl ε beliebig klein gewählt werden kann, wenn nur T hinreichend gross ist. Weil $f(s)$ in diesem Kreise regulär ist, so ist dann auch

$$|f(s_0)| < T^{\varepsilon}.$$

Ferner ist

$$|k(s_0)| = \prod_{\nu=1}^{n} \left| \frac{r}{s_0 - s_\nu} \right| > \left(\frac{r}{\varrho}\right)^n,$$

und weil $\sigma_0 > 1$ ist, so ist $|\zeta(s_0)|$ grösser als eine gewisse positive Konstante a.

Nach (3) haben wir also

$$a \left(\frac{r}{\varrho}\right)^n < T^\varepsilon,$$

woraus folgt

$$n \log \frac{r}{\varrho} < \varepsilon \log T - \log a,$$

und also, weil $\log \frac{r}{\varrho} > 0$ ist,

$$n = A(T) = o(\log T).$$

Satz 2. Wenn $A(T) = o(\log T)$ für jedes beliebig kleine δ ist, so ist $\mu\left(\frac{1}{2}\right) = 0$.

Es bezeichne diesmal $s_1, s_2, s_3, \ldots, s_n$ die Nullstellen der Zetafunktion im Kreise $|s - s_0| \leq r = \sigma_0 - \frac{1}{2} - \delta$, wo $s_0 = \sigma_0 + Ti$ ist und $\sigma_0 > 1$ gewählt wird. Wenn $A(T) = o(\log T)$ ist, so ist für r fest auch $n = o(\log T)$. Mit diesen Nullstellen und diesem r bilden wir wieder nach (2) und (3) die Funktionen $k(s)$ und $f(s)$.

Auf dem Kreise $|s - s_0| = r$ haben wir dann wieder $|f(s)| = |\zeta(s)|$ und also

$$|f(s)| < T^c, \tag{4}$$

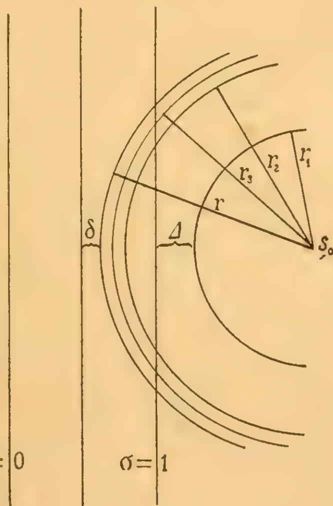
wo c eine positive Konstante ist.

Wir betrachten ferner die Funktion $\log f(s)$. Nach (2) und (3) ist

$$(5) \qquad \log f(s) = \log \zeta(s) + \sum_{\nu=1}^{n} \log \alpha_\nu(s),$$

wenn der Kürze wegen der ν:te Faktor in (2) mit $\alpha_\nu(s)$ bezeichnet wird. In der Halbebene $\sigma > 1$, wo $\zeta(s)$ und $k(s)$ regulär und $\neq 0$ sind, wird $\log f(s)$ durch diese Gleichung eindeutig definiert, wenn irgend welche eindeutig bestimmte Zweige von den Logarithmen ausgewählt werden. Es sei $\log \zeta(s)$ z. B. derjenige Zweig, der für reelle Werte von s reell ist, und $\log \alpha_\nu(s)$ derjenige Zweig, für den $|\Im \log \alpha_\nu(s_0)| < \frac{\pi}{2}$ ist. In dem links von der Geraden $\sigma = 1$ fallenden Teil des Kreises $|s - s_0| = r$, wo $f(s)$ ja auch regulär und $\neq 0$ ist, wird $\log f(s)$ durch analytische Fortzetzung innerhalb dieses Kreises dann auch als reguläre und eindeutige Funktion definiert.

Wir wollen nun $\log f(s)$ auf dem Kreise $|s - s_0| = r_1 = \sigma_0 - 1 - \varDelta$, wo $\varDelta > 0$ ist, abschätzen. Offenbar ist auf diesem Kreise $|\log \alpha_\nu(s)|$ kleiner als eine von T unabhängige Konstante b. Man hat in der Tat



$$\frac{\varDelta}{2r} < \frac{r - r_1}{r + r_1} < |\alpha_\nu(s)| < \frac{2r}{\varDelta}$$

und

$$|\arg \alpha_\nu(s)| < \pi,$$

also

$$|\log \alpha_\nu(s)| < \left|\log \frac{2r}{\varDelta} + \pi i\right| = b.$$

Es wird also nach (5)

$$|\log f(s)| < |\log \zeta(s)| + nb.$$

Für $\sigma \geqq 1 + \Delta$ ist $\log \zeta(s)$ beschränkt; von der aus dem Eulerschen Produkt herfliessenden Darstellung von $\log \zeta(s)$ durch die Dirichletsche Reihe

$$\log \zeta(s) = \sum_{m, p} \frac{1}{mp^{ms}}$$

ergibt sich ja unmittelbar die Relation

$$|\log \zeta(s)| \leqq \log \zeta(\sigma) \leqq \log \zeta(1 + \Delta).$$

Nach der Voraussetzung ist ferner $n = o(\log T)$, und wir erhalten folglich

$$\log f(s) = o\,(\log T).$$

Bei jedem positiven ε ist also für $|s - s_0| \leqq r_1$

$$(6) \qquad |\log f(s)| < \varepsilon \log T,$$

wenn T hinreichend gross ($> T_0$) gewählt worden ist.

Nach diesen Feststellungen können wir den Littlewoodschen Gedankengang auf die Funktion $f(s)$ anwenden, indem wir nach bekannten Funktionentheoretischen Sätzen aus (4) und (6) schliessen, zuerst dass $\log f(s) = O(\log T)$ auf dem Kreise $|s - s_0| = r_3 = r - \eta\ (\eta > 0)$ ist, und darauf weiter, dass $\log f(s) = o\,(\log T)$ auf dem Kreise $|s - s_0| = r_2 = r - 2\eta$ ist.

Aus (4) folgt in der Tat für $|s - s_0| \leqq r_3$ die Ungleichung[1])

$$\left|\log \frac{f(s)}{f(s_0)}\right| \leqq \frac{2r_3}{r - r_3} \log \frac{T^c}{|f(s_0)|},$$

[1]) *E. Lindelöf, Mémoire sur certaines inégalités dans la théorie des fonctions monogènes et sur quelques propriétés nouvelles de ces fonctions dans le voisinage d'un point singulier essentiel* (Acta Societatis Scientiarum Fennicae, Bd. 35, 1908, S. 17).

und hieraus ferner

$$|\log f(s)| \leqq |\log f(s_0)| + \frac{2r_3}{r-r_3}\left(c \log T - \log |f(s_0)|\right)$$
$$\leqq \frac{r+r_3}{r-r_3} |\log f(s_0)| + \frac{2r_3}{r-r_3} c \log T.$$

Da nach (6) $\log f(s_0) = o(\log T)$ ist, ergibt sich also $\log f(s) = O(\log T)$. Es gibt also eine Konstante a_1, so dass für $T > T_0$ die Ungleichung

$$(7) \qquad |\log f(s)| < a_1 \log T$$

auf dem Kreise $|s - s_0| = r_3$ erfüllt ist.

Den zweiten Schluss ziehen wir aus (7) und (6) mittels des bekannten s. g. Dreikreisesatzes[1]. Wenn $F(s)$ eine im Kreisringe $r_1 \leqq |s - s_0| \leqq r_3$ eindeutige und reguläre Funktion ist und M_1, M_2, M_3 die Maxima von $|F(s)|$ auf den Kreisen $|s - s_0| = r_1, r_2, r_3$ bezeichnen, wo $r_1 < r_2 < r_3$, so ist nach diesem Satze

$$M_2^{\log \frac{r_3}{r_1}} \leqq M_1^{\log \frac{r_3}{r_2}} M_3^{\log \frac{r_2}{r_1}}.$$

Wir setzen hier $F(s) = \log f(s)$, während r_1, r_2 und r_3 die früher angegebenen Bedeutungen haben. Nach (6) und (7) ist dann

$$M_2^{\log \frac{r_3}{r_1}} < (\varepsilon \log T)^{\log \frac{r_3}{r_2}} (a_1 \log T)^{\log \frac{r_2}{r_1}}$$
$$= a_1^{\log \frac{r_2}{r_1}} \varepsilon^{\log \frac{r_3}{r_2}} (\log T)^{\log \frac{r_3}{r_1}},$$

[1]) Vgl. in dieser Hinsicht auch eine allgemeine Methode von Lindelöf: *Sur un principe générale de l'analyse et ses applications à la théorie de la représentation conforme* (Acta Societatis Scientiarum Fennicae, Bd. 46, 1915, S. 5—7).

und folglich, wenn $\frac{\log \frac{r_3}{r_2}}{\log \frac{r_3}{r_1}} = \lambda$ gesetzt wird,

$$M_2 < a_2 \varepsilon^\lambda \log T = \varepsilon' \log T.$$

Für $|s - s_0| \leqq r_2 = \sigma_0 - \frac{1}{2} - \delta - 2\eta$, $T > T_0$ haben wir also

$$\log |f(s)| \leqq |\log f(s)| < \varepsilon' \log T,$$

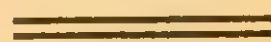
d. h.

$$|f(s)| < T^{\varepsilon'},$$

und da $|k(s)|$ in diesem Kreise > 1 ist, folgt hieraus

$$|\zeta(s)| < T^{\varepsilon'}.$$

Nach der Voraussetzung kann ε' beliebig klein gemacht werden, und es ist also $\mu(\sigma) = 0$ für $\sigma \geqq \frac{1}{2} + \delta + 2\eta$. Dies besteht bei beliebig kleinen Zahlen δ und η, und wegen der Stetigkeit der Funktion $\mu(\sigma)$ somit auch im Punkte $\sigma = \frac{1}{2}$. Es ist also $\mu\left(\frac{1}{2}\right) = 0$, wie wir behaupteten.



ÖFVERSIGT

AF

FINSKA VETENSKAPS-SOCIETETENS

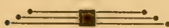
FÖRHANDLINGAR

LXI.

1918—1919.

A. MATEMATIK OCH NATURVETENSKAPER.

HÄFTET 2.



HELSINGFORS 1920
HELSINGFORS CENTRALTRYCKERI OCH BOKBINDERI AKTIEBOLAG

INNEHÅLL:



Öfversigt af Finska Vetenskaps-Societetens Förhandlingar.
Bd. LXI. 1918—1919. Afd. A. N:o 10.

Über den Einfluss von Licht und Feuchtigkeit auf die Wachstumsrichtung des Lebermoosgametophyten.

(Vorläufige Mitteilung).

Von

Hans Buch.

Der Lebermoosgametophyt ist, mit sehr wenigen Ausnahmen (z. B. Haplomitrium, die brutkörnerentwickelnden Sprosse von Calypogeja), ausgeprägt dorsiventral gebaut, wobei die Ventralseite durch geringeren Chlorophyllgehalt sowie durch das Vorkommen von Rhizoiden gekennzeichnet ist. Von den thallösen Formen lässt sich mit grosser Wahrscheinlichkeit annehmen, dass sie alle transversal phototropisch sind, nachdem dies durch Sachs (Vorl. über Pflanzenphysiologi, zweite Auflage 1887, S. 752) für Marchantia polymorpha bewiesen wurde. Dasselbe dürfte auch für diejenigen beblätterten Formen gelten, deren Blattflächen ganz oder fast parallel der Sprossachse gestellt sind (z. B. Lophocolea, Chiloscyphus, Calypogeja, Radula). Durch Experimente bewiesen ist dieses für Lophocolea bidentata (Němec, B., Die Wachstumsrichtung einiger Lebermoose. Flora 1906. Bd 96 [N. F. 71], S. 432). Für die Richtigkeit dieser Annahme spricht das Verhalten in der freien Natur. Ich habe nämlich nie beobachten können, dass Thalli oder Sprosse dieser Lebermoose in die Lichtrichtung eingestellt wären.

Anders verhält es sich mit denjenigen beblätterten Arten, deren Blätter dem Stengel mehr oder weniger quer angeheftet sind (die Mehrzahl der Jungermanniae foliosae Europas). Namentlich bei Dichtwuchs kann man häufig beobachten, dass die Sprosse dieser Arten in die Lichtrichtung eingestellt sind, unabhängig von der Stellung der Substratoberfläche zur Lotlinie, mit anderen Worten, dass sie positiv phototropisch sind.

Andererseits kann man an Stellen, wo die Moosvegetation sehr undicht ist (z. B. vor kurzem gegrabene Gräben), beobachten, dass die vereinzelten Exemplare der betreffenden Lebermoosarten, unabhängig von der Lichtrichtung und Stellung der Substratoberfläche, dem Substrate dicht angeschmiegt wachsen, und zwar mit der Ventralseite gegen dieses gekehrt. Dies zeigt, dass, wenigstens bei undichtem Wuchs, das Licht nicht allein die Wachstumsrichtung bestimmt. Unwillkürlich wird man hier an den, dem Substrate entströmenden Wasserdampf als »richtende Kraft» denken. (Dass die Schwerkraft hier nicht mitwirkt, dürfte schon aus dem oben gesagten hervorgehen. Eine Wärmewirkung kann auch nicht vorliegen, da längere zeit andauernde Temperaturunterschiede zwischen Substrat und Pflanze oder Substrat und Atmosphäre hier nicht vorkommen können. Eine Kontaktwirkung könnte vielleicht auch in Betracht kommen, ist aber wenig wahrscheinlich.) Die Reaktion gegen die einseitige Feuchtigkeit bestände dann im Anschmiegen der ventralen Seite an das feuchte Substrat. Wir können also füglich von transversalem Hygrotropismus reden. Bekannt sind bis jetzt nur Fälle von positivem und negativem Hygrotropismus, wo ein radiäres Organ die Feuchtigkeitsquelle aufsucht oder flieht, wobei es gleichgültig ist, welche Seite von der Feuchtigkeit einseitig beeinflusst wird. Dass diese dorsiventralen Gebilde anders reagieren, ist in ihrer inneren Organisation begründet, die es mit sich führt, dass die beiden Seiten sich verschieden verhalten gerade, so wie die Dorsiventralität, in Bezug auf Licht und Schwerkraft, zur Herstellung einer transversal helio- resp. transversal geotropischen Gleichgewichtslage

führt. Ein transversal hygrotropisches Organ braucht aber, wie wir oben sahen, nicht gleichzeitig transversal photo- und geotropisch zu sein [1]). Wie sich die einzelnen Arten gegen das Licht verhalten, kann man jedoch bei undichtun Wuchse nicht ohne weiteres entscheiden, da die »wachstumrichtende» Wirkung der Feuchtigkeit unter diesen Umständen vollkommen zu dominieren scheint. Dass eine positiv phototropische Reaktion überhaupt wahrnehmbar ist, und zwar fast nur bei Dichtwuchs, könnte einfach so erklärt werden, dass der Feuchtigkeitsreiz nicht mehr einseitig vom Substrate ausgeht sondern allseitig wirkt, indem zwischen den dicht stehenden Stämmchen eine wasserdampfreiche Atmosphäre ensteht.

Um entscheiden zu können, ob die obigen aus dem Verhalten des Lebermoosgametophyten in der freien Natur gezogenen Schlüsse, betreffs des Einflusses von Licht und Feuchtigkeit auf die Wachstumsrichtung, richtig sind, führte ich im Mai 1918 einige Experimente aus mit solchen Lebermoossprossen, welche mehr oder weniger quer angeheftete Blätter besitzen und welche wir als positiv phototropisch und transversal hygrotropisch bezeichneten. Der positive Phototropismus müsste, falls die obige Deutung des Verhaltens bei Dichtwuchs richtig ist, hervortreten, auch wenn die Sprosse sehr undicht gestellt sind, in einer sehr wasserdampfreichen Atmosphäre (wo also die einseitige Feuchtigkeitswirkung aufgehoben ist) und unabhängig von der Stellung der Substratoberfläche zur Lotlinie. Der transversale Hygrotropismus müsste, gemäss den Beobachtungen in der freien Natur, bei undicht gestellten Sprossen in einer wasserdampfarmen Atmosphäre in der Art hervortreten,

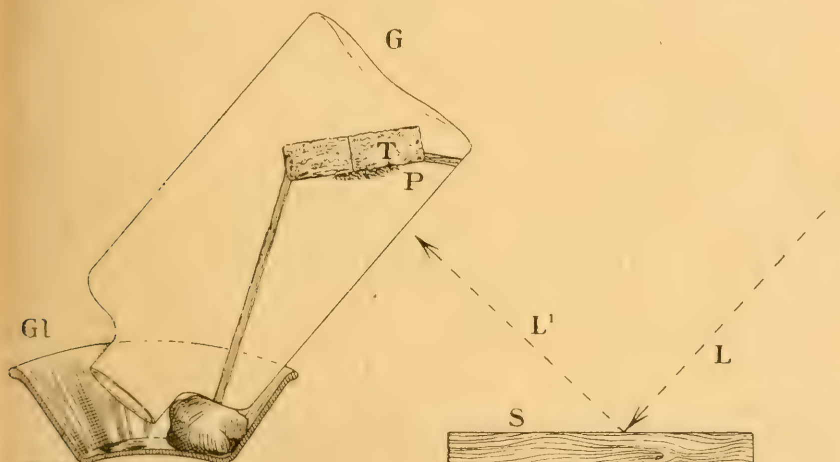
[1]) Man kann sich der Vorstellung nicht erwehren, dass der dorsiventrale Bau der oben erwähnten positiv phototropischen aber transversal hygrotropischen Lebermoose phylogenetisch als Anpassung an den transversalen Hygrotropismus aus radiär gebauten Vorfahren entstanden sei. Aber auch eine zweite Möglichkeit, dass der dorsiventrale Bau und der transversale sowohl Photo- wie Hygrotropismus das primäre gewesen wären und der positive Phototropismus erst sekundär erworben sei, lässt sich denken, scheint mir aber weniger wahrscheinlich. Möglich ist auch, das beide Entwicklungslinien vorgekommen sind.

dass die ventrale Rhizoiden tragende Seite sich gegen das feuchte Substrat kehrt und diesem dicht angeschmiegt weiterwächst, unabhängig von der Lichtrichtung und Stellung der Substratoberfläche zur Lotlinie.

Im Anschluss an diese Erwägungen wurden zwei Parallelkulturen hergestellt, eine mit stark feuchter Atmosphäre und eine mit ziemlich trockener Atmosphäre.

Als Untersuchungsobjekte dienten Sprosse von *Lophozia Binsteadii* und *L. porphyroleuca*, welche ich auf Torf in einem glasbedeckten Holzkästchen erzogen hatte. Sie waren sämtlich normal und kräftig. Sie wurden für die Experimente folgendermassen auf zwei neue feuchte Torfstückchen hingelegt, in gleicher Zahl auf beide: ein Hanffäserchen wurde quer um die Torfstückchen gebunden und die Pflänzchen vorsichtig unter das Fäserchen geschoben und zwar so, dass einige die Rhizoidenseite dem Substrate zukehrten, andere die entgegengesetzte Seite und wieder andere auf der Seite lagen (letztere Lage jedoch nur bei *L. Binsteadii*). Die Torfstückchen (T) wurden dann mit je vier vorher abprobierten Holzfüssen versehen und jedes in ein Glasgefäss (G) wie aus der Fig. ersichtlich, hineingestellt, so dass die Pflänzchen (P) abwärts zu liegen kamen. G war innen mit schwarzem mattem Papier bekleidet, bis auf einen Längsspalt unter dem Torfstück und von der Breite desselben. Das Licht, starkes diffuses Tageslicht eines Nordostfensters, kam in der Richtung L, wurde von einem Spiegel (S) (Einfallsvinkel 45°) in die Richtung L′ gebrochen, passierte rechtwinklig die Glaswand auf der Stelle des Lichtspaltes und traf schliesslich schräg die pflanzentragende Torffläche. Die Mündung des Glasgefässes (G) war in die Glasschale (Gl) hineingestülpt. Das Versuchsgefäss mit trockener Atmosphäre war somit fertig hergestellt. Die stark feuchte Atmosphäre wurde derart geschaffen, dass die Glasschale (Gl) mit Wasser so weit angefüllt wurde, dass die Mündung von G damit bis auf einen unbedeutenden Luftspalt zugedeckt war. Die beiden Versuchsgefässe wurden neben einander parallel aufgestellt und erhielten ihr Licht durch Vermittlung ein und desselben Spiegels. Das Torf-

stückchen der trockenen Atmosphäre musste täglich herausgenommen werden um befeuchtet zu werden, was ohne direkte Benetzung der Sprosse geschah. Zugleich wurde aber auch das Torfstückchen der feuchten Atmosphäre herausgenommen, untersucht und, wenn nötig, auch dieses benetzt. Der Umstand, dass die Sprosse täglig für einige Minuten aus der beabsichtigten Lage gebracht wurden, kann unmöglich einen Einfluss auf die schliessliche Wachstumsrichtung ausgeübt haben. Die Temperatur schwankte während der Versuchszeit zwischen 15 und 18° C.



In der feuchten Atmosphäre konnte eine deutliche Reaktion erst nach fünf Tagen wahrgenommen werden. Sämtliche Pflänzchen zeigten eine deutliche Krümmung (ohne Torsion) der wachsenden Spitze gegen das Licht und behielten später dieselbe Wachstumsrichtung bei.

In der trockenen Atmosphäre war nach fünf Tagen noch nichts wahrzunehmen; erst nach ungefähr einer Woche zeigte sich die Reaktion: 1) diejenigen Pflänzchen, welche mit der Ventralseite gegen das Substrat gekehrt waren, waren in der selben Richtung weitergewachsen oder hatten eine unbedeutende Krümmung seitwärts erfahren. 2) Die Exemplare, welche auf der Seite lagen, hatten durch Torsion

der wachsenden Stengelspitze die Ventralseite dieser Partie gegen das Substrat gekehrt. 3) Die Exemplare, die mit der Dorsalseite gegen das Substrat lagen, waren entweder ganz unverändert oder hatten die Spitze gegen das Licht gekehrt. Später wuchsen alle Pflänzchen, welche jetzt mit der Ventralseite das Substrat berührten, unverändert diesem dicht angeschmiegt weiter. Die übrigen starben allmählich.

Wie ersichtlich verhielten sich alle Pflanzen in der feuchten Atmosphäre und die Mehrzahl in der trockenen Atmosphäre ganz nach Erwartung. Eine unerwartete Reaktion zeigten nur die mit der Dorsalseite gegen das Substrat gekehrten Exemplare der trockenen Atmosphäre. Wenn man diejenigen ausser acht lässt, welche — wohl in folge zu starker Trockenheit namentlich der Rhizoiden — überhaupt nicht wuchsen oder reagierten und bald starben, bleiben nur solche welche positiv phototropische Reaktion zeigten. Diese für die trockene Atmosphäre offenbar abnorme Reaktion kann darauf beruhen, dass der Feuchtigkeitsreiz die rhizoidentragende Ventralseite, welche wahrscheinlich die viel empfindlichere ist, überhaupt nicht erreichte, so dass die Sprosse sich allseitig gereizt »fühlten».

Dass die Schwerkraft keinen Einfluss auf die in den Experimenten hervortretenden Reaktionen ausübte, geht zum Überfluss aus folgendem hervor: 1) Die Stämmchen in der feuchten Atmosphäre kehrten sich dem Lichte zu, obgleich dieses schräg von unten kam. 2) In der trockenen Atmosphäre kehrten die Pflänzchen die Ventralseite gegen das Substrat, obgleich sie dadurch in inverse Lage kamen.

Dass dem Kontakt mit der Unterlage kein Einfluss zukam, zeigt die Erhebung der Stammspitze vom Substrate (im Zusammenhang mit der positiv phototropischen Reaktion), trotz der Berührung.

Man könnte einwenden, dass die Pflänzchen in der trockenen Atmosphäre gegenüber derselben Lichtintensität vielleicht anders »gestimmt» wären als in der feuchten, und zwar so, dass sie in der ersteren transversal, in der letzteren positiv phototropisch reagierten. Dieser Einwand wird durch folgende Umstände widerlegt: 1) Das Licht traf im Experi-

ment die Substratoberfläche schräg. Unter solchen Umständen müssten doch irgend welche Exemplare der trockenen Atmosphäre sich vom Substrat erheben um in die richtige Lage gegenüber dem Lichte zu gelangen. 2) In einer anderen Kultur, wo das Licht (auch hier starkes diffuses Tageslicht) die Substratoberfläche (Torf) rechtwinklig traf, wuchsen die Pflänzchen (Lophozia Binsteadii und Sphenolobus saxicolus) der Oberfläche entlang bis sie den Rand des Torfstückchens erreichten; dort krümmten sie sich abwärts und wuchsen an der Seite gerade abwärts weiter, also jetzt vom Lichte fort!

Schliesslich könnte man noch einwenden, dass der Wasserdampf vielleicht überhaupt nicht, oder jedenfalls nicht allein für sich, die beschriebene Wirkung hervorruft, sondern andere gasförmige Ausdünstungen des Substrates. Dann hätten wir es hier nicht nur mit dem Hygrotropismus zu tun sondern mit dem allgemeineren Begriffe des Chemotropismus, welcher vielleicht auch den Hygrotropismus umfasst. Dies erscheint mir jedoch unwahrscheinlich, aber eine exakte Entscheidung bringen die ausgeführten Experimente nicht in dieser Frage. Ich lasse sie offen.

Unter anderen Lebermoosarten, deren Sprosse in anderen, für andere Zwecke hergestellten Kulturen mit stark feuchter Atmosphäre rein positiv phototropische Reaktion zeigten, seien folgende erwähnt: Sphenolobus Michauxii, Sph. minutus, Lophozia longidens, L. ventricosa, Scapania curta, Sc. mucronata, Sc. lingulata, Sc. helvetica, Sc. irrigua.

In einer Parallelkultur zu den obigen Scapanien, aber mit trockener Atmosphäre, zeigten sämtliche einen dem Substrate dicht angeschmiegten Wuchs. Dass dieser auf transversalem Hygrotropismus beruhte, ist höchst wahrscheinlich; aus den Kulturen ist dies nicht mit voller Sicherheit zu schliessen, da so wohl Licht wie Schwerkraft hier die Substratoberfläche rechtwinklig trafen.

Die Resultate der Experimente über den Einfluss von Licht und Feuchtigkeit auf die Wachstumsrichtung der Sprosse von *Lophozia Binsteadii* und *L. porphyroleuca* können folgenderweise zusammengefasst werden.

1) Der bei trockener Atmosphäre dem feuchten Substrate entströmende Wasserdampf (event. auch andere gasförmige Ausdünstungen?) beherrschte vollkommen die Wachstumsrichtung der Versuchsobjekte, in der Art, dass die wachsenden Stammspitzen, wenn sie nicht schon von Anfang an mit der Ventralseite dem Substrate zugekehrt lagen, diese Partie gegen das Substrat kehrten und diesem dicht angeschmiegt weiter wuchsen. Dies müssen wir als transversalen Hygrotropismus (event. allgemein Chemotropismus?) bezeichnen. (Ausnahmen bildeten Pflänzchen in einer gewissen Lage).

2) Nach Aufhebung der einseitigen Feuchtigkeit, also in einer sehr feuchten Atmosphäre, übte das Licht den Haupteinfluss auf die Wachstumsrichtung der Versuchsobjekte aus, welche hierbei eine rein positiv phototropische Reaktion zeigten.

3) Weder die Schwerkraft noch der Kontakt mit der Unterlage übten, in Anwesenheit der unter 1) und 2) erwähnten »richtenden Kräfte», Einfluss auf die Wachstumsrichtung der Versuchsobjekte.

4) Eine Reihe Beobachtungen auch über andere in anderen Kulturen aufgewachsene Stämmchen beblätterter Lebermoosarten, mit mehr oder weniger quer angehefteten Blättern, machen es wahrscheinlich, dass alle solche Lebermoose sich ähnlich verhalten werden wie die untersuchten.

Mit denjenigen beblätterten Lebermoosen, deren Blattflächen der Achse fast parallel gestellt sind und bei welchen wir transversalen Phototropismus neben transversalem Hygrotropismus voraussetzen dürfen, habe ich noch keine Versuche angestellt. Aber zufällige Beobachtungen auch an Zimmerkulturen stützen diese Auffassung, machen es aber andererseits auch wahrscheinlich, dass bei gewissen Arten andere phototropische Reaktionen vorkommen, als die hier erwähnten. Ich möchte jedoch nichts näheres hierüber äussern, ehe exakte Experimente vorliegen, welche ich bei nächster günstigen Gelegenheit vornehmen werde.

Öfversigt af Finska Vetenskaps-Societetens Förhandlingar.
Bd. LXI. 1918—1919. Afd. A. N:o 11.

Untersuchungen

über den

Thermotropismus der Pflanzen

Von

RUNAR COLLANDER



HELSINGFORS 1919
HELSINGFORS CENTRALTRYCKERI

INHALT.

Öfversigt af Finska Vetenskaps-Societetens Förhandlingar
Bd. LXI 1918—1919. Afd. A N:o 11.

Geschichtliche Einleitung.

Der Begriff des Thermotropismus wurde im Jahre 1874 von van Tieghem in die Wissenschaft eingeführt [1]) und als »la propriété de se courber sous l'influence d'un échauffement inéquilatéral» definiert (l. c. S. 116). Die von ihm gegebene Erklärung der thermotropischen Krümmungsreaktionen ist eine sehr einfache: Wenn die eine Flanke einer Pflanze eine günstigere Temperatur hat als die gegenüberliegende, wird jene schneller wachsen als diese, sodass eine Krümmung von der begünstigten Seite weg zustandekommt. Bei Temperaturen oberhalb des Optimums wird die Krümmung also stets gegen die wärmere Seite ausfallen, d. h. positiv sein; bei Temperaturen unterhalb der optimalen ist sie dagegen negativ.

Die Auffassung van Tieghems entspricht mithin ganz der bekannten von de Candolle aufgestellten »Etiolementstheorie» des Phototropismus. Es lässt sich aber aus der Darstellung van Tieghems nicht mit Sicherheit entnehmen, wieviel sich darin auf faktische Beobachtung gründet und was nur theoretisch konstruiert ist. Jedenfalls dürfte das spekulative Element dominieren, denn unter den von van Tieghem erwähnten Experimenten scheinen die meisten in Wirklichkeit kaum ausführbar zu sein.

Wortmann (1883) stellte sich als erster die Aufgabe das empirische Beweismaterial für die Anschauungen van

[1]) Schon früher hatten Guillemin (1857, S. 169) und Sachs (1872, S. 218) einige diesbezügliche Experimente angestellt, aber mit negativem Ergebnis.

Tieghems herbeizuschaffen. Unter Benutzung einer erhitzten Eisenblechplatte als Strahlungsquelle glaubte er auch einen negativen Thermotropismus bei Keimpflanzen von *Lepidium* und *Linum* sowie beim Sporangienträger von *Phycomyces* und einen positiven Thermotropismus bei *Zea* nachweisen zu können. Die Krümmungsrichtung entsprach jedoch im allgemeinen nicht der Theorie van Tieghems, und Wortmann hebt deshalb hervor, dass der Thermotropismus eine viel kompliziertere Lebenserscheinung sei als eine nach dem van Tieghemschen Schema bewirkte Krümmung.

Als aber Steyer im Jahre 1901 das thermotropische Verhalten von *Phycomyces* näher untersuchen wollte, stellte es sich heraus, dass an dieser Pflanze gar keine thermotropische Empfindlichkeit zu konstatieren war und dass die von Wortmann beobachteten Krümmungen aller Wahrscheinlichkeit nach durch Nebeneinflüsse (ungleiche Beleuchtung) veranlasst waren.

Dieses unerwartete Ergebnis veranlasste Steyer zu untersuchen, ob vielleicht auch bei *Lepidium* und *Zea* keine thermotropische Empfindlichkeit vorhanden sei. Hierüber schreibt er, ohne irgendetwas über die von ihm bei diesen Versuchen benutzte Methode mitzuteilen, wie folgt: »Es zeigte sich in einigen nur beiläufig angestellten Versuchen, dass beide thermotropisch sind, und zwar *Lepidium sativum* bei hohen Temperaturen ebenso positiv wie *Zea Mays*, nur ist *Lepidium* sensibler gegen Lichtreiz, und infolgedessen hat Wortmann bei *Zea Mays* eine positive und bei *Lepidium* eine negative Krümmung erhalten. Bei geringeren Temperaturen schlägt der positive Thermotropismus in einen negativen um[1]); es muss jedoch genaueren Untersuchungen vorbehalten werden, hier volle Klarheit zu schaffen« (l. c. S. 14).

Seit dieser Zeit (1901) ist nichts Neues über den Thermotropismus der Keimsprosse veröffentlicht worden.

---

[1]) Pfeffer, unter dessen Leitung die Untersuchung Steyers ausgeführt wurde, gibt (ob mit Absicht?) in seinem Handbuch (1904, S. 580) an, dass Steyer bei beiden Objekten nur positiven Thermotropismus fand.

Dagegen ist bei älteren Sprossen in zwei Fällen eine ausgesprochene thermotropische Empfindlichkeit beobachtet worden.

Der erste hierhergehörende Fall wurde im Jahre 1890 von Vöchting beschrieben. Er fand, dass die Blüten von *Anemone stellata* dem Lauf der Sonne folgen, auch wenn ein undurchsichtiger Rezipient über die Pflanzen gestülpt ist. Vöchting erklärte sich die Sache so, dass der Rezipient von der Sonne einseitig erwärmt wird und dass die Blütenstiele sich infolge von positivem Thermotropismus nach der am meisten erwärmten Seite hinkrümmen. Die Richtigkeit dieser Auffassung wurde von ihm dadurch bestätigt, dass er im Laboratorium eine Längswand des Rezipienten mit daruntergestellten Pflanzen erwärmte: auch jetzt neigten sich die Blüten der Wärmequelle zu. Näheres ist hierüber nicht bekannt [1]).

Eine auffallend gut ausgebildete thermotropische Empfindlichkeit wird von Pohl (1909) den halbwüchsigen Pflanzen von *Linum usitatissimum* zugeschrieben. Wie *Anemone stellata* folgt auch diese Pflanze, unter einer geschwärzten Glasglocke stehend, mit ihrem Gipfel dem Lauf der Sonne. Aber noch mehr! Pohl hat beim Einbruch der Dämmerung nach sonnenhellen Tagen beobachtet, dass die in einem Garten wachsenden Leinpflanzen sämtlich ihre Gipfel in einer Richtung einstellten, die der Diagonale eines Parallelogrammes entsprach, dessen Seiten gegen eine 1—4 m entfernte Schuppenwand und eine 13 m entfernte Schulhauswand ausgezogen zu denken waren; und er erblickt in der von den Wänden ausgestrahlten Wärme die Ursache dieser Erscheinung.

Experimentell konnten positiv thermotropische Reaktio-

---

[1]) Vöchting spricht die Vermutung aus, dass sich *Anemone nemorosa*, *Tulipa silvestris* und vielleicht manche andere im Frühling oder Spätherbst blühende Pflanzen ähnlich wie *A. stellata* verhalten. Doch sind thermotropisch empfindliche Blüten seit Vöchtings Untersuchungen nicht bekannt geworden, und in speziell hierauf gerichteten (aber nicht näher beschriebenen) Versuchen hat Lundegårdh (1916) bei *Anemone nemorosa* keinen Thermotropismus nachweisen können.

nen von P o h l erzielt werden, z. B. indem er einen mit heissem Wasser gefüllten eisernen Topf in einem Abstand von etwa einem Meter von den Leinpflanzen aufstellte oder denselben mit kaltem Wasser gefüllt 65 cm von den Pflanzen entfernt stellte (im letzteren Falle drehten sich die Pflanzen von dem Topfe weg).

Auch negativen Thermotropismus will P o h l an *Linum* beobachtet haben. Der obenerwähnte Topf soll nämlich, mit Wasser gefüllt, das durch Hinzufügung von gebranntem Kalk sehr heiss gehalten wurde, in einem Abstand von 70 cm sämtliche Pflanzen binnen zwei Stunden zu einer Hinwegdrehung des Gipfels veranlasst haben.

Eine Untersuchung W o r t m a n n s aus dem Jahre 1885 kann als der erste erfolgreiche Versuch bezeichnet werden, thermotropische Reaktionen an W u r z e l n nachzuweisen [1]).

Bei seinen Experimenten benutzte W o r t m a n n einen mit feuchten Sägespänen gefüllten Zinkkasten, dessen eine Wand mittels Gasflammen erhitzt und die gegenüberliegende durch fliessendes Wasser gekühlt wurde, sodass die in dem Sägemehl befindlichen Keimwurzeln einem Wärmefall von 4 bis 7.6° C pro cm ausgesetzt waren.

Von den untersuchten Pflanzen verhielten sich *Ervum lens*, *Pisum sativum* und *Zea mais* prinzipiell ganz gleich. Oberhalb einer für jede einzelne Art charakteristischen Grenztemperatur krümmten sich die Wurzeln in kurzer Zeit [2]) von der warmen Wand weg, also negativ thermotropisch. Dagegen war die Krümmung bei niederen Temperaturen positiv und trat erst nach etwa 3 ¼ bis 9 Stunden ein. Bei der Grenztemperatur, die für *Ervum* zu 27.5°, für *Pisum* zu 32—33° und für *Zea* zu 37—38° angegeben wird, kamen sowohl positive wie negative Krümmungen vor. Bei

---

[1]) Wir sehen hier von den unbestimmten Angaben v a n T i e g h e m s und den wohl sicher falsch interpretierten Beobachtungen B a r t h é l e m y s (1884) ab.

[2]) Die Reaktionszeit ist den von W o r t m a n n mitgeteilten Versuchsprotokollen nicht genau zu entnehmen, denn die Heizung begann erst nach dem Einbringen der Wurzeln, sodass eine nicht genau messbare Zeit verstrich, ehe der definitive Temperaturzustand erreicht war.

der Hauptwurzel von *Phaseolus multiflorus* konnten nur negative Reaktionen beobachtet werden (unterhalb 22° blieb überhaupt jede Krümmung aus); dagegen reagierten die Nebenwurzeln von *Phaseolus* bei niedrigen Temperaturen positiv. Überhaupt lassen sich also — was von Wortmann nachdrücklich hervorgehoben wird — die an den Wurzeln beobachteten Krümmungen unmöglich dem Schema van Tieghems einfügen.

Im Jahre 1891 wurde von af Klercker über ähnliche Versuche mit Wurzeln von *Pisum*, *Vicia faba*, *Helianthus annuus* und *Sinapis alba* berichtet. Die Grösse des Krümmungswinkels wurde jedesmal gemessen und das so erhaltene Zahlenmaterial einer eingehenden Analyse unterworfen. Bei höheren Temperaturen wurden durchgehends negative Krümmungen beobachtet, und bis gegen 40° nahm der Krümmungsgrad mit steigender Temperatur stetig zu. Bei niedrigeren Temperaturen, besonders um 15 bis 22° herum, wurde eine entgegengesetzte Tendenz verspürt, die entweder — wie bei *Helianthus* und *Vicia* — zu einer Schwächung der negativen Reaktion führte, oder gar — wie bei *Pisum* und *Sinapis* — positive Krümmungen veranlasste. Aus diesen Tatsachen zieht af Klercker den Schluss, dass die bis dahin als thermotropisch bezeichneten Reaktionen der Wurzeln wahrscheinlich komplizierterer Natur seien und durch wenigstens zwei antagonistisch wirkende Faktoren erzeugt werden. Er hebt hervor, dass die Wurzeln bei der von Wortmann und ihm benutzten Versuchsanordnung ausser strahlender und geleiteter Wärme[1]) auch anderen Reizen ausgesetzt sind. Erstens ist, da die eine Seite des die lockeren Sägespäne fassenden Metallkastens erwärmt, die andere aber abgekühlt wird, mit dem Zustandekommen von Luft-

[1]) af Klercker vermutet, dass unter den üblichen Versuchsbedingungen die an den Wurzeln erzeugte Temperaturdifferenz der hauptsächliche Reizanlass sei, dass es sich aber bei den Experimenten Wortmanns mit Keimsprossen und *Phycomyces* um eine »durch den Anprall der Wärmewellen erzeugte unmittelbare Reizung der Protoplasten» handle. Um diesen Unterschied zu markieren, schlägt er für die erstgenannten Erscheinungen die Benennung Caloritropismus vor. Doch hat diese Bezeichnung in der Literatur kaum Eingang gefunden.

strömungen zu rechnen, die wenigstens am Boden des Gefässes von der kalten zur warmen Wand gerichtet sein müssen und die eventuell eine tropistische Reizwirkung ausüben könnten. Und zweitens könnte das unvermeidliche Austrocknen des Sägemehls an der warmen Wand hydrotropische Reaktionen veranlassen. Welche von den genannten Faktoren wirklich von Belang sind, ist aber von af Klercker nicht ermittelt worden.

Der Gedanke von dem Mitwirken des Hydrotropismus ist kürzlich von Hooker (1914) aufgenommen und weiter entwickelt worden. Hooker geht so weit zu erklären, dass alle bisher als »thermotropisch» bezeichneten Reaktionen der Wurzeln in Wirklichkeit hydrotropisch seien. Nur räumt er ein (ohne aber seine Auffassung hierüber des näheren auseinanderzusetzen), dass »in all probability, the negativ bending was assisted and accelerated by a traumatropic stimulus» (l. c. S. 152). Wirklich thermotropische Reaktionen gibt es aber nach Hooker bei den Wurzeln gar nicht.

Den Beweis für seine Auffassung findet Hooker in von ihm ausgeführten Versuchen, bei denen Wurzeln, die sich entweder in 1.25-prozentigem Agar oder in einem Brei von Sägemehl und Wasser befanden, einer Temperaturdifferenz ausgesetzt waren. Unter diesen Umständen, wo somit alle Feuchtigkeitsunterschiede vermieden waren, blieben die »thermotropischen» Krümmungen gänzlich aus. (Wachstum und geotropische Reaktionen wurden aber in den genannten Medien nicht verhindert.)

Ganz andersartige Vorstellungen über das Wesen der thermotropischen Reaktionen der Wurzeln wurden fast gleichzeitig von Miss Eckerson (1914) vorgeführt. Da ja ein Variieren der Plasmapermeabilität mit der Temperatur bereits für mehrere pflanzliche Objekte festgestellt worden ist, scheint es a priori im höchsten Grade wahrscheinlich, dass eine Wurzel, deren zwei gegenüberliegende Seiten eine verschiedene Temperatur besitzen, auch einen entsprechenden Unterschied der Permeabilität aufweisen werden. Miss Eckerson nimmt nun an, dass die thermotropischen

Krümmungen eben durch diesen Permeabilitätsunterschied verursacht werden. »Those cells which are subjected to a temperature at which they are more permeable to dissolved substances are consequently less turgid. This results in a shrinking of the tissues on that side of the root and a consequent mechanical curvature. Always the more permeable side of the root becomes concave» (l. c. S. 262). — Um die von ihr aufgestellte Hypothese nachzuprüfen, untersuchte Miss Eckerson bei einer Reihe von Pflanzen, deren thermotropisches Verhalten bekannt war, die Abhängigkeit der Permeabilität der Wurzelzellen für KNO_3 und Traubenzucker von der Temperatur. Die Bestimmung der Permeabilität geschah nach der bekannten Methode von Lepeschkin. Das Resultat war eine geradezu glänzende Bestätigung der aufgestellten Hypothese: in den Temperaturgebieten, wo die thermotropische Krümmung positiv ausfällt, nimmt die Permeabilität mit steigender Temperatur zu, wo die Krümmungsrichtung negativ ist, nimmt sie ab, und innerhalb derjenigen Temperaturgrenzen, wo keine Krümmungen auftreten, ist auch die Permeabilität unabhängig von der Temperatur.

Der Vollständigkeit halber sei noch erwähnt, dass Porodko (1912—13) Reizkrümmungen an Wurzeln studiert hat, die mit einer 40—200° warmen Glasfläche in Berührung gebracht waren. Ein Teil dieser Krümmungen werden von Porodko als thermotropische aufgefasst. Immerhin dürfte es sich bei fast all den in Rede stehenden Experimenten um Traumatotropismus handeln, weshalb ein näheres Eingehen auf die gewonnenen Resultate hier nicht nötig erscheint.

Zusammenfassend können wir also sagen,

1. dass über den Thermotropismus der Keimsprosse so gut wie gar nichts bekannt ist;

2. dass ein ausgesprochener Thermotropismus bei älteren Sprossen zwar in zwei Fällen beobachtet worden ist, dass

aber die diesbezüglichen Beobachtungen in hohem Grade einer Vervollständigung bezw. einer Bestätigung bedürftig sind; und

3. dass wir zwar einigermassen über den äusseren Verlauf der sogenannten thermotropischen Reaktionen der Wurzeln unterrichtet sind, dass aber die fundamentale Frage noch unentschieden ist, ob diese Reaktionen tatsächlich von der Wärme verursacht werden und nicht etwa hydrotropischer Natur sind.

Der Thermotropismus gehört mithin zu den am wenigsten bekannten Richtungsbewegungen der Pflanzen, und eine erneute Untersuchung des fraglichen Gebietes schien daher sehr erwünscht.

Die Experimente, über die im folgenden berichtet werden soll, wurden in den Jahren 1916 und 1918 im Botanischen Institut der Universität zu Helsingfors ausgeführt. Meinem hochgeschätzten Lehrer, Herrn Prof. Dr. F r e d r. E l f v i n g, danke ich herzlich für das freundliche Interesse, womit er meine Arbeit verfolgt hat, und für die grosse Liebenswürdigkeit, womit er immer bereit war die erforderlichen Hilfsmittel zu meiner Verfügung zu stellen. Ihm verdanke ich auch die erste Anregung zu der vorliegenden Untersuchung.

Theoretisches über die Umgrenzung des Begriffs des Thermotropismus.

Abgrenzung des Thermotropismus gegen andere Tropismen. Die Unterscheidung und Benennung der verschiedenen Arten von Tropismen geschieht bekanntlich nach den jeweilig wirksamen Reizanlässen. Als t h e r m o t r o p i s c h sind mithin solche Orientierungskrümmungen zu bezeichnen, die von den die Pflanze einseitig angreifenden W ä r m ewirkungen ausgelöst werden. Ausser durch geleitete Wärme können aber tropistische Reaktionen auch durch sogenannte Wärmestrahlung — d. h. strahlende Energie grösserer Wellenlänge, als es die für uns sichtbaren Lichtstrahlen sind — ausgelöst

werden, und wir müssen uns daher klar machen, 1. wie die durch Wärmestrahlen induzierten tropistischen Reaktionen gegen die phototropischen abzugrenzen sind, sowie 2. ob die durch geleitete und strahlende Wärme veranlassten Orientierungskrümmungen als eine einzige oder als zwei verschiedene Arten von Tropismen aufzufassen sind.

1. Man könnte zunächst geneigt sein aus dem Umstande, dass es keine scharfe Grenze zwischen den Wärmestrahlen und den Lichtstrahlen gibt, zu schliessen, dass auch die Abgrenzung der durch Wärmestrahlung bewirkten thermotropischen Reaktionen gegen die phototropischen mehr oder weniger willkürlich sei [1]). Diese Folgerung ist jedoch nicht berechtigt. Bei der Beurteilung dieser Frage müssen wir uns vergegenwärtigen, dass ja bereits Fälle bekannt sind, wo sogar ein einziges Agens zwei deutlich unterschiedene tropistische Reizungen bewirken kann. So z. B. kann ein gelöster Stoff gleichzeitig sowohl chemotropisch wie osmotropisch reizend wirken, indem ein Teil desselben in die Zelle eindringt oder an ihr adsorbiert wird, während ein anderer Teil auf osmotischem Wege wasserentziehend wirkt. Ganz analog können nun Strahlen, die untereinander wenig oder gar nicht verschieden sind, teilweise in Wärme umgewandelt werden und so eine einseitige Temperatursteigerung verursachen, während ein anderer Teil photochemische Absorption [2]) erleidet: durch diesen Vorgang kann eine phototropische Reaktion induziert werden, durch jenen eine thermotropische. In diesem Sachverhalt liegt jedoch durchaus keine Veranlassung die Existenz von Übergängen

---

[1]) Eine solche Auffassung kommt z. B. in der Äusserung Josts (1913, S. 634) zum Ausdruck, dass die von Wiesner konstatierten Krümmungen durch rotes und ultrarotes Licht »mit demselben Recht» thermotropisch wie phototropisch genannt werden könnten.

[2]) Endgültig aufgeklärt ist das Wesen des phototropischen Reizprozesses vielleicht noch nicht. Hier kommt es jedoch nur darauf an zu betonen, dass die verschiedenen Strahlenarten nicht nach Massgabe ihrer Wärmewirkung phototropisch wirksam sind und dass die strahlende Energie beim phototropischen Reizprozess also keinesfalls erst in Wärmeenergie umgewandelt wird.

zwischen den beiden fraglichen Reizmodalitäten anzunehmen, ebensowenig wie etwa die Grenze zwischen Osmotropismus und Chemotropismus dadurch im geringsten verwischt wird, dass derselbe Stoff gleichzeitig sowohl osmotropische wie chemotropische Wirkungen entfalten kann.

Auch inbezug auf die Art der Entscheidung, ob in einem konkreten Falle eine durch strahlende Energie ausgelöste Reaktion als thermotropisch oder phototropisch zu bezeichnen ist, lässt sich die angedeutete Analogie anwenden. Bekanntlich sprechen wir von Osmotropismus, wenn es sich zeigt, dass die Reaktion lediglich durch die Konzentration — nicht durch die Qualität — der Stoffe bedingt ist; von Chemotropismus aber, wenn auch die chemische Konstitution des Reizmittels eine Rolle spielt, ohne dass deshalb seine Konzentration für den Erfolg gleichgültig wäre (Jost, 1913, S. 733). Ganz entsprechend werden wir eine durch Strahlung induzierte Reizkrümmung thermotropisch nennen, wenn sich zeigen lässt, dass sie von der Intensität, d. h. von dem Energieinhalt (= Wärmewirkung) — nicht aber von der Qualität [1] — der Strahlung abhängt, während Phototropismus in dem Falle vorliegt, dass auch die Wellenlänge der Strahlung eine Rolle spielt, ohne dass deshalb ihre Intensität für die Reizung bedeutungslos wäre [2]. Es ist also nicht möglich an einer bestimmten Stelle im Spektrum eine Grenze zwischen thermotropisch und phototropisch wirksamen Strahlen zu ziehen (ebensowenig wie eine Einteilung der chemischen Verbindungen in nur osmotropisch und nur chemotropisch wirksame Stoffen durchführbar wäre). In letzter Linie wird es nämlich immer von der Beschaffenheit der Pflanze abhängen, ob der in Wärme umgewandelte oder der photo-

[1]) Nur insofern spielt die Qualität der Strahlung auch beim Thermotropismus eine Rolle, als es selbstverständlich eine Voraussetzung für das Zustandekommen einer Temperaturdifferenz ist, dass die Strahlung von dem Pflanzenkörper absorbiert wird. Ebenso setzt ja übrigens auch die osmotropische Wirkung eines Stoffes das Nicht-Eindringen desselben voraus.

[2]) In ganz entsprechender Weise ist der Unterschied zwischen Phototaxis und durch Strahlung erzielter Thermotaxis am zweckmässigsten zu präzisieren (vgl. dagegen Jost, 1913, S. 739).

chemisch absorbierte Teil der Strahlung oder beide zugleich eine tropistische Reaktion auslösen [1]).

2. Die Frage, inwieweit die durch Wärmestrahlung erzielten Orientierungskrümmungen zu derselben Kategorie wie die durch geleitete Wärme ausgelösten Reizkrümmungen gerechnet werden müssen, ist schon durch obige Erwägungen so ziemlich geklärt. Wir haben gesehen, dass bei der Einwirkung von sogenannten dunklen Wärmestrahlen auf die Pflanze dieselben entweder ohne vorangehende Umwandlung in Wärmeenergie einen Reiz ausüben können oder aber zuerst eine Temperaturdifferenz verursachen, die dann eine Reaktion seitens der Pflanze auslöst. Im ersten Falle haben wir es mit einem extremen Fall von Phototropismus zu tun [2]). Im zweiten aber ist die Reaktion offenbar völlig identisch mit derjenigen, die von den durch Leitung erzielten Temperaturdifferenzen ausgelöst wird. Diese Reaktionen müssen (gleichgültig, durch welche speziellen Mittel die Temperaturdifferenz zustandegebracht ist) aus Prioritätsgründen thermotropisch genannt werden. Die von af Klercker vorgeschlagene Benennung Caloritropismus ist somit als überflüssig zu streichen.

Über die Abgrenzung des Thermotropismus gegen den Traumatotropismus vgl. S. 53.

Der Thermotropismus und die »van Tieghemschen Krümmungen.» In der Einleitung (S. 1) ist bereits erwähnt worden, dass sich van Tieghem, der über den Thermotropismus offenbar mehr spekuliert als experimentiert hat, das Zustandekommen der thermotropischen Krümmungen in einer sehr einfachen Weise dachte. Eine Krümmung, die

---

[1]) In *praktischer* Hinsicht dürfte es allerdings als ein genügendes Kriterium für die thermotropische Natur einer Orientierungskrümmung gelten können, wenn es sich zeigt, dass sie durch die Strahlung eines nicht über ein paar hundert Grad erhitzten Körpers ausgelöst wird, denn photochemische Reaktionen, die durch eine so langwellige Strahlung verursacht wären, dürften nicht bekannt sein.

[2]) Zu dieser Kategorie gehören die von Guillemin, Wiesner u. a. konstatierten Reizkrümmungen durch kurzwellige ultrarote Strahlung (vgl. die Literatur-Zusammenstellung z. B. bei Wiesner 1878).

nach diesem Schema zustandekommt, werde ich im folgenden der Kürze halber eine van Tieghemsche Krümmung (oder van Tieghemsche Reaktion) nennen.

Der Umstand, dass die zuerst näher untersuchten Fälle von Thermotropismus nicht nach van Tieghems Theorie erklärt werden konnten, führte frühzeitig dahin, dass man sich gewöhnte in den thermotropischen Reaktionen eine sehr komplizierte Reizerscheinung zu erblicken, die sich wenigstens bis auf weiteres jeder näheren Analyse entzog. Als Vöchting im Jahre 1888 in den Blütenknospen von *Magnolia* ein Objekt auffand, das sich tatsächlich nach dem van Tieghemschen Schema verhält, wurde dies daher — eben wegen der relativen Einfachheit dieses Krümmungsvorganges — im allgemeinen nicht als ein Fall von wirklichem Thermotropismus aufgefasst.

Wahrscheinlich können aber van Tieghemsche Krümmungen durch geeignete Massnahmen an jedem in Streckungswachstum begriffenen Organ erzielt werden, und es scheint daher angebracht die Frage kurz zu berühren, ob eine van Tieghemschen Krümmung wirklich auch als eine tropistische Reaktion zu bezeichnen ist.

Die gewöhnliche Definition der Tropismen enthält nur zwei Bestimmungen: 1. dass es sich um einen Reizvorgang handelt, und 2. dass der Vorgang zu einer Krümmung führt, deren Richtung in bestimmter Beziehung zur Angriffsrichtung des auslösenden Agens steht. Diese Forderungen sind beide im vorliegenden Falle erfüllt: betreffs der zweiten ist dies ja ohne weiteres ganz klar, aber auch betreffs des Erfülltseins der ersten Bestimmung kann wohl kaum ein berechtigter Zweifel herrschen, wenn man bedenkt, dass ja die Wirkung der Wärme auf das Wachstum immer einen Reizvorgang darstellt (denn das Wachstum geschieht nicht auf Kosten der zugeführten Wärmeenergie, vielmehr beschränkt sich die Wirkung der Wärme darauf, dass sie die Pflanze veranlasst mit eigenen Energiemitteln das Wachstum mit einer bestimmten Geschwindigkeit fortzusetzen, vgl. Pfeffer, 1893, S. 18). Die Einreihung der van Tieg-

h e mschen Krümmungen unter die Tropismen scheint mir daher, rein formell betrachtet, gut motiviert.

Andererseits aber gibt es doch auch eine Anzahl von Umständen, die gegen eine solche Einreihung sprechen:

1. Nach der herrschenden Anschauung reagiert die Pflanze bei den gewöhnlichen tropistischen Reaktionen als ein einheitliches Ganzes auf den Reiz. Bei der v a n T i e g h e mschen Reaktion dagegen kommt die Krümmung dadurch zustande, dass die Temperatur das Wachstum jedes einzelnen Gewebeelementes für sich beeinflusst, ohne dass ein korrelatives Zusammenwirken der verschiedenen Teile (das überhaupt für die tropistischen Reaktionen als charakteristisch angesehen wird, vgl. P f e f f e r, 1904, S. 602) dabei vorkäme. Doch scheint es nicht angemessen zu viel Gewicht auf diesen vermeintlichen Unterschied zu legen, denn nach den neuen, überaus bemerkenswerten Untersuchungen B l a a u w s (1914, 1915 und 1918) würden ja — wenigstens in vielen Fällen — die Vorgänge bei den phototropischen Reaktionen in dieser Hinsicht denjenigen einer v a n T i e g h e mschen Reaktion vollkommen entsprechen.

2. Vom ökologischen Standpunkt gesehen erscheint es als ein wichtiger Unterschied zwischen den v a n T i e g h e mschen Krümmungen und den eigentlichen Tropismen, dass jene konsequent unzweckmässig sind, während diese uns ja doch im grossen ganzen ausgesprochen zweckmässig vorkommen.

3. Da es auch solche thermotropischen Reaktionen gibt, die dem Schema v a n T i e g h e m s durchaus nicht entsprechen, sondern wo der Reizerfolg am häufigsten gerade umgekehrt ausfällt, wäre es vielleicht zweckmässig diesen Unterschied auch durch eine abweichende Benennung zum Ausdruck zu bringen.

4. Schliesslich könnte man sich vielleicht auf die Einreihung der v a n T i e g h e mschen Krümmungen unter die thermotropischen Reaktionen berufen, um zu fordern, dass z. B. auch solche Krümmungen als positiv thermotropisch bezw. positiv chemotropisch anzusprechen wären, die dadurch

entstehen, dass die eine Seite einer Wurzel etwa durch kochendes Wasser oder eine Sublimatlösung abgetötet wird. Hierdurch würde ja aber der Sinn des Begriffs Tropismus ganz zu zerfliessen drohen.

Zusammenfassend müssen wir daher sagen, dass es zum guten Teil Geschmacksache bleibt, ob man die van Tieghemschen Krümmungen zu den thermotropischen Reaktionen zählen will oder nicht. Wie es nicht möglich ist eine ganz scharfe Grenze zwischen Reizerscheinungen und anderen Auslösungsvorgängen zu ziehen, so ist es auch nicht möglich den Begriff Tropismus vollkommen exakt zu umgrenzen.

Thermotropismus der Keimsprosse.

1. *Methodisches.*

Als Versuchsobjekte dienten mir vor allem die bei reizphysiologischen Untersuchungen so oft benutzten Keimlinge von *Avena sativa* (»Svalöfs Segerhavre») sowie Keimpflanzen von *Helianthus annuus*. In kleinerem Umfange wurden auch *Lepidium sativum*, *Vicia sativa* und *Zea mais* geprüft. Alle Versuchspflanzen (mit Ausnahme der letztgenannten Art, die im Wärmezimmer des Instituts aufgezogen wurde) waren in demselben Dunkelzimmer, wo die meisten Experimente stattfanden, aufgezogen, und zwar in mit feuchtem Sand gefüllten hölzernen Gefässen.

Das Versuchszimmer war im obersten Stockwerk des Instituts gelegen; da in dieser Etage keine Gasleitungen eingeführt sind, war eine Beschädigung der Pflanzen durch Leuchtgasspuren kaum zu befürchten. Zur Beleuchtung diente ausschliesslich eine rote elektrische Birne, deren Licht unter den in Frage kommenden Verhältnissen keine phototropischen Reaktionen zu induzieren vermochte. Die Temperatur des Dunkelzimmers war beträchtlichen täglichen und jahreszeitlichen Schwankungen unterworfen. Sie variierte im allgemeinen zwischen etwa 16 und 24° C und

wurde gewöhnlich bei jedem Experiment notiert. Durch Anbringen von mit Wasser gefüllten Gefässen auf dem Heizapparat sowie bei den elektrischen Heizwiderständen wurde die Luft ziemlich feucht gehalten.

In den Versuchen, wo das Verhalten der Pflanzen gegenüber einseitiger Wärmestrahlung untersucht wurde, dienten als Strahlungsquellen zwei käufliche, »*Westa*» genannte elektrische Heizwiderstände. Ein solcher besteht im Wesentlichen aus zwei mattschwarzen, 31 cm langen und 6.5 cm breiten Eisenplatten, zwischen welchen schwach leitend gemachte Glimmerblätter isoliert befestigt sind. Wird durch die Blätter ein elektrischer Strom von 120 Volt Spannung geleitet, so werden die Eisenplatten auf etwa 300° erhitzt und strahlen jetzt eine gewaltige Wärmemenge aus. Die Intensität der die Versuchspflanzen treffenden Strahlung wurde ganz einfach dadurch abgestuft, dass die Pflanzen in entsprechenden Abständen von dem Heizwiderstand aufgestellt wurden.

Es zeigte sich bald, dass die Verwendung von besonders empfindlichen Messinstrumenten (etwa einem Bolometer oder einer Thermosäule) zur Bestimmung der Strahlungsintensität nicht vonnöten war, da die Pflanzen auf sehr schwache Strahlung gar nicht sichtbar reagierten. Um eine annähernde Vorstellung von der Strahlungsintensität und der Temperatur in verschiedenen Abständen von dem Heizwiderstand zu bekommen, wurden zwei Thermometer benutzt. Die Kugel des einen (I) war berusst; diejenige des anderen (II) war dagegen durch ein kleines am Thermometer befestigtes Stanniolschirmchen gegen Strahlung geschützt. In dieser Weise wurden die hier angegebenen Temperaturen beobachtet:

Entfern. vom Heizwiderst.	10	12	15	18	21	24	27 cm.
Temp. im Versuchszimmer	24°.7	24°.6	25°.0	24°.8	26°.0	25°.6	27°.1
Thermometer I	46°.1	42°.2	37°.7	35°.2	33°.8	32°.0	32°.9
» II	26°.9	26°.6	26°.4	26°.4	26°.8	26°.3	27°.6

Ein anderes Mal wurden folgende Werte erhalten:

Entfern. vom Heizwiderst. . .	10	14	18	25	50	100 cm.
Temp. im Versuchszimmer. . .	20°.7	20°.5	20°.1	20°.6	20°.5	20°.7
Thermometer I	48°.2	39°.2	33°.3	29°.6	24°.1	22°.0
» II	26°.2	25°.0	23°.6	23°.2	21°.8	21°.0

Selbstverständlich gestatten aber derartige Thermometerangaben nicht die Temperatur der bestrahlten Pflanzen selbst zu bestimmen, denn dieselbe hängt ausser von der Strahlungsintensität und der Lufttemperatur auch von mehreren anderen schwer einzuschätzenden Faktoren ab, wie z. B. von der Menge der reflektierten Strahlung, von der Intensität der Transpiration u. s. w. Um die Temperatur der Versuchsobjekte selbst zu ermitteln, wurde einigemal in die Pflanzen eine am Ende zugeschmolzene Glaskapillare eingeführt, die eine geringe Menge des bei + 28° C schmelzenden *p*-Brom-Toluols enthielt. Dann wurde beobachtet, wie nahe dem Heizwiderstand die Pflanzen aufgestellt werden mussten, um die eingeschlossene Substanz eben zum Schmelzen zu bringen. Mit *Avena*-Koleoptilen fiel der Versuch folgendermassen aus:

Temp. im Versuchszimmer	9°.0	15°.8	19°.4
Kritische Entfernung	10	16	22 cm.
Zugehörige Temp. des Thermom. I . .	34°.3	31°.9	31°.0

Und mit *Helianthus*-Hypokotylen:

Temp. im Versuchszimmer	11°.5	17°.0
Kritische Entfernung	12	17 cm.

Obige Temperaturangaben beziehen sich auf die Mitte der fraglichen Organe. Es wäre natürlich von grossem Interesse gewesen die Temperaturen an den der Wärmequelle zu- und abgekehrten Seiten gesondert zu messen, allein eine solche Bestimmung wäre auf sehr grosse technische Schwierigkeiten gestossen.

Da es später erwünscht war auch die Einwirkung von geleiteter Wärme untersuchen zu können, wurde folgende Versuchsanordnung benutzt:

Die in feuchtem Sand aufgezogenen *Avena*-Keimlinge wurden aufgegraben und ihre Koleoptilen zwischen die auswendig mit einer Schicht Agar-Gelatine-Gallert überzogenen Längswände zweier parallelipipedischen Zinkgefässe in lotrechter Lage eingeklemmt. Die Zinkgefässe waren 18 cm lang, 2.5 cm breit und 3.5 cm hoch. Sie waren an beiden Enden mit Röhren versehen, die zur Durchleitung von Wasser konstanter Temperatur dienten. Die Agargelatine bestand aus 4 gr Agar-Agar, 10 gr Gelatine und — je nach der Temperatur, bei der die Versuche ausgeführt werden sollten — 250 bis 300 gr Wasser. Sie wurde heiss auf die eine Längswand des Zinkgefässes ausgegossen. Damit das Gallert sich mit Sauerstoff sättigte, wurden dann die Gefässe für etwa 12 Stunden in frischem Wasser an einem kühlen Ort liegen gelassen.

Während der Experimente ruhten die beiden Zinkgefässe an den Rändern einer mit Wasser gefüllten Porzellanschale, worein die Wurzeln der Keimlinge eintauchten. Es erwies sich nötig die beiden Zinkgefässe so kräftig gegeneinander zu drücken, dass die dazwischen befindlichen *Avena*-Koleoptilen in das Gallert hineingepresst wurden, und die beiden Gallertschichten in direkte Berührung miteinander kamen, weil sonst die Agar-Gelatine an der warmen Wand austrocknete. Die Koleoptilen sinken in das warme und daher weichere Gallert tiefer ein als in das kühlere, weshalb die Gallertschicht des zu erwärmenden Gefässes etwas dicker (etwa 1.4 mm) als das des anderen Gefässes (etwa 0.8 mm) gemacht wurde. Ein senkrecht gegen die Koleoptilen geführter Schnitt würde also etwa das in Fig. 1 dargestellte Bild geben.

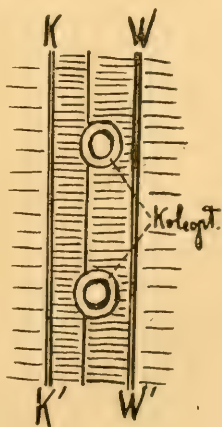


Fig. 1.

2. *Nachweis, dass durch Temperaturdifferenzen Krümmungen an Keimsprossen veranlasst werden können.*

Unter Benutzung des vorher beschriebenen Heizwiderstandes gelang es an allen in dieser Hinsicht geprüften Keimpflanzen durch kräftige einseitige Bestrahlung Krümmungen zu erzielen, die immer gegen die Strahlungsquelle hin gerichtet waren.

Als mögliche Ursachen dieser Krümmungen waren zwei Hauptmomente zu berücksichtigen, nämlich 1. die Strahlung als solche, d. h. ohne Umwandlung der strahlenden Energie in Wärmeenergie (die Reaktion wäre in dem Falle am besten als eine phototropische aufzufassen, vgl. S. 11), und 2. die durch die Bestrahlung bewirkte einseitige Temperatursteigerung (oder eventuelle Folgen derselben, wie z. B. die hierdurch bedingte Transpirationssteigerung).

Avena sativa. — Am eingehendsten wurden die Bedingungen der Krümmungsreaktion an Keimlingen von *Avena sativa* geprüft.

Bereits in den ersten Experimenten zeigte es sich deutlich, dass das Zustandekommen der Krümmungsreaktion nicht durch die Zuführung einer bestimmten Strahlungsmenge bedingt ist, denn bei genügender Intensität der Strahlung wird die Krümmung schon nach ½ oder spätestens nach 1 bis 1 ½ Stunde sichtbar, während bei geringeren Intensitäten eine Reaktion auch bei mehrstündiger Exposition nicht zu erzielen ist.

Werden die Experimente bei unveränderter Lufttemperatur ausgeführt, so kommt es einem vor, als ob die Reaktion nur durch die Intensität der die Pflanzen treffenden Strahlung bedingt wäre, denn es lässt sich eine bestimmte Entfernung feststellen, innerhalb deren die Krümmungen eintreten, ausserhalb deren sie aber ausbleiben. Führt man jedoch die Bestrahlungsversuche bei verschiedenen Lufttemperaturen aus, so ändert sich das Bild gänzlich: bei niedrigen Lufttemperaturen müssen die Pflanzen, damit die

Krümmung eintrete, in viel geringeren Entfernungen von dem Heizwiderstand aufgestellt werden als bei höheren Temperaturen. Diese Tatsache geht deutlich aus den Tabellen 1—3 hervor [1]).

Tabelle 1.

Nr.	Entf. (cm)	Z. T.	Zahl der Versuchs-pflanzen.	Versuchs-dauer	Krümmungen.
1	10	10°	7	80′	Alle ±.
				180′	5 deutlich +, die Spitzen jedoch fast ±.
2	10	2°	7	60′	4 schwach +, 3 ±.
				90′	2 kräftig +, 2 schwach +, 3 ±.
3	12	3°	2	80′	Beide schwach +,
4	14	1°	9	150′	Alle ±.
5	14	9°	3	165′	ebenso.
6	14	8°	6	165′	ebenso.
7	14	7°	7	150′	2 —, 5 ±.
8	15	9°	6	180′	Alle ±.
9	15	9°	6	180′	ebenso.
10	15	4°	7	120′	ebenso.
11	15	8°	5	140′	3 ganz schwach +, 2 ±.
12	15	9°	4	165′	2 schwach +, 2 ±.
13	16	10°	5	180′	Alle ±.
14	16	5°	?	120′	ebenso.
15	18	10°	7	150′	ebenso.
16	20	2°	7	120′	ebenso.
17	20	7°	?	140′	ebenso.

[1]) Gebrauchte Abkürzungen: Entf. = Entfernung der Versuchspflanzen vom Heizwiderstand, Z. T. = Temperatur im Versuchszimmer. — In den Tabellen ist gewöhnlich nur die totale Versuchsdauer angegeben; meistens wurden während derselben zahlreiche Beobachtungen (z. B. jede halbe Stunde) gemacht.

Tabelle 2.

Nr.	Entf. (cm)	Z. T.	Zahl der Versuchs-pflanzen.	Versuchs-dauer.	Krümmungen.
1	12	22°	8	45′	3 +, 5 ±
				60′	5 +, 3 ±.
				180′	Alle 8 +.
2	15	22°	8	75′	Alle 8 +.
3	18	23°	8	120′	4 schwach +, 4 ±.
				270′	5 + (nur an der Basis), 3 ±.
4	20	20°	6	180′	1 +, 5 ±.
5	21	23°	7	?	3 +, 4 ±.
6	21	23°	8	165′	6 +, 2 ±.
7	21	21°	8	360′	2 +, 6 ±.
8	22	20°	8°	95′	Alle ±.
9	24	23°	5	420′	ebenso.
10	24	20°	9	360′	2 +, 1 —, 6 ±.
11	27	20°	7	830′	5 an der Basis etwa + 10°, 2 ±.
12	27	20°	8	300′	2 + (etwa 10°), 6 ±.
13	27	21°	7	150′	Alle 7 ±.
14—20	40	19—23°	38	260—720	10 +, 8 —, 15 ±.

Tabelle 3.

Nr.	Entf. (cm)	Zahl der Versuchs-pflanzen	Versuchs-dauer	Krümmungen
1	18	7	30′	3 +, 4 ±
			60′	5 +, 2 ±
2	25	4	30′	2 +, 2 ±
			60′	3 +, 1 ±
3	25	5	90′	3 +, 2 ±
4	30	5	90′	2 +, 3 ±
5	30	4	60′	2 +, 2 ±
6	32	5	150′	2 +, 3 ±
7	35	6	150′	1 +, 5 ±
8	35	5	180′	Alle ±

Man sieht, dass die Krümmung bei einer Lufttemperatur von + 1 bis + 10° (Tabelle 1; diese Versuche wurden im Winter in einem ungeheizten Zimmer ausgeführt) schon in einer Entfernung von 14 cm vom Heizwiderstand ausbleibt. Bei 19—23° (Tabelle 2; diese Experimente wurden in dem gewöhnlich benutzten Dunkelzimmer ausgeführt) tritt die Reaktion bis etwa 15—18 cm einigermassen regelmässig auf (ausser bei den in der Tabelle angeführten Versuchen wurden diese Entfernungen auch in zu anderen Zwecken ausgeführten Experimenten benutzt), wird aber bei 20—21 cm unsicher, um in noch grösseren Entfernungen ganz auszubleiben. Die in Tabelle 3 zusammengestellten Versuche schliesslich wurden im Wärmezimmer des Instituts bei einer konstanten Lufttemperatur von 28° ausgeführt; aus der Tabelle geht hervor, dass bei dieser Temperatur die Hälfte der Pflanzen noch in einer Entfernung von 30 cm eine Krümmung ausführt.

Die einfachste Deutung der soeben mitgeteilten Tatsachen schien die Annahme zu bieten, dass die Krümmung nicht durch die Strahlung als solche ausgelöst wird, sondern dass sie von der durch die Strahlung bewirkten einseitigen Temperatursteigerung verursacht wird, und zwar so, dass die Erreichung einer bestimmten kritischen Temperatur für das Zustandekommen der Reaktion massgebend sein würde. Doch war auch eine andere Möglichkeit zu berücksichtigen, nämlich die, dass die Krümmung davon abhing, dass die Transpiration an der erwärmten Seite einen gewissen kritischen Betrag erreicht (vgl. Pfeffer 1904, S. 580), was selbstverständlich in der warmen und relativ trockenen Luft des Wärmezimmers in viel grösseren Entfernungen vom Heizwiderstand geschehen kann, als wenn die Experimente bei niedrigeren Lufttemperaturen ausgeführt werden. Zwar scheint nach den bis jetzt vorliegenden Erfahrungen eine hydrotropische Empfindlichkeit unter den Keimsprossen nicht sehr verbreitet zu sein; es ist aber zu beachten, 1. dass bisher keine Untersuchungen vorliegen über die eventuelle hydrotropische Reizwirkung einer so gewaltig gesteigerten einseitigen Transpiration wie die

hier in Frage kommende, und 2. dass ausserdem mit einer rein mechanischen Wirkung der erhöhten Transpiration gerechnet werden musste, da es nämlich möglich schien, dass die Wasserabgabe an der erwärmten Seite so lebhaft sei, dass infolge unzureichender Wasserversorgung ein einseitiges Welken eingetreten war.

In diesem Stadium der Untersuchung galt es also vor allem zu ermitteln, ob die Krümmung auch in dem Falle eintritt, dass eine einseitige Steigerung der Transpiration vermieden ist. Im Bejahungsfalle war ausserdem endgültig festzustellen, ob — was nach den soeben mitgeteilten Ergebnissen zu schliessen als sehr wahrscheinlich bezeichnet werden musste — durch Leitung zugeführte Wärme dieselbe Reaktion auslösen kann wie Wärmestrahlung. Zu diesen beiden Zwecken wurde die auf S. 17 beschriebene Versuchsanordnung ausgedacht, die sich zwar als in vielen Hinsichten mangelhaft erwies, aber doch eine Beantwortung der gestellten Fragen zuliess.

Die nach dieser Methode mit Temperaturen oberhalb 20° ausgeführten Versuche sind in Tabelle 4 zusammengestellt. (Da die Experimente oft ganz misslangen, ist die Zahl der wirklich einwandfreien Versuchen leider eine ziemlich beschränkte.) Die in der Tabelle angegebenen Temperaturen beziehen sich auf das durch die Zinkgefässe strömende Wasser. Die zwischen den gegenüberliegenden Flanken der *Avena*-Koleoptilen herrschende Temperaturdifferenz war also jedenfalls kleiner als 10°, — wahrscheinlich etwa 6—8° (vgl. Fig. 1) —; sie lässt sich aber nicht präzis angeben, da die Agarschichten nicht immer genau die gleiche Dicke hatten. Höhere Temperaturen als 40° wurden nicht verwendet, da nach Fitting (1907, S. 223) die Tötungstemperatur der Koleoptile in Wasser etwa bei 43° liegt.

Tabelle 4.

Temp. I.	Temp. II.	Versuchs-dauer	Anzahl der Versuchspfl.	Reaktion
30°	40°	1 St.	4	Alle kräftig + (etwa + 30°).
30°	40°	1 »	7	+ 10°, + 15°, + 20°, + 20°, + 25°, + 25°, + 30°.
25°	35°	1 »	5	± 0°, ± 0°, + 5°, + 15°, + 15°.
25°	35°	1 »	6	± 0°, ± 0°, ± 0°, + 5°, + 5°, + 10°.
25°	35°	1 »	6	Keine deutlichen Krümmungen.
20°	30°	1 »	6	1 oder 2 Pflanzen schwach +, die anderen ungekrümmt.
20°	30°	1 »	6	Alle ungekrümmt oder unmerklich +.
20°	30°	1½ »	6	± 0°, ± 0°, ± 0°, ± 0°, ± 0°, + 5°.

Aus den vier ersten in Tabelle 4 angeführten Experimenten (denen sich mehrere ähnliche, aber in irgend einer Hinsicht mangelhafte und daher weggelassene Versuche anschliessen) geht hervor, dass von den *Avena*-Keimlingen gegen die erwärmte Seite hin gerichtete Krümmungen ausgeführt werden, auch wenn die Wärme ausschliesslich durch Leitung zugeführt wird und trotzdem eine einseitige Transpirationssteigerung dabei ganz ausgeschlossen ist[1]).

Auch inbezug auf die zum Zustandekommen der Krümmung erforderliche Temperatur stimmen die Ergebnisse der mit geleiteter Wärme und mit Wärmestrahlung ausgeführten Experimente befriedigend überein. Vergleicht man die

[1]) Stark (1917) hat gezeigt, dass haptotropische Reaktionen an Avena-Keimlingen auch durch Reiben mit gelatineüberzogenen Glasstäbchen erzielt werden können. Doch dürften Kontaktreize bei meinen Experimenten kaum störend eingewirkt haben, da ja die Keimlinge auf allen Seiten mit dem Gallert in Berührung standen. Übrigens hätte, da das Gallert an der kühleren Seite härter war, eine eventuelle Kontaktkrümmung mit aller Wahrscheinlichkeit nach dieser Seite ausfallen müssen, während in meinen Versuchen nur gegen die wärmere Seite hin gerichtete Krümmungen auftraten.

Angaben der Tabellen 1 und 2 mit den auf S. 16 mitgeteilten Beobachtungen über das Schmelzen des *p*-Brom-Toluols, so findet man nämlich, dass die Krümmung eintritt, sobald die Temperatur im Innern der *Avena*-Koleoptilen etwa 28° C übersteigt. Und Tabelle 4 zeigt, dass die Krümmung bei einer mittleren Temperatur von 35° kräftig ausfällt, dass sie bei 30° zuweilen noch unzweifelhaft ist, dass sie aber bei 25° ausbleibt.

Andere Keimpflanzen. — Meine allerersten Experimente über die Wirkung der Wärmestrahlung auf Keimsprosse wurden mit Keimlingen von *Lepidium sativum, Vicia sativa* [1]) und *Helianthus annuus* ausgeführt. Diese Versuche sind vornehmlich dadurch von Interesse, dass sie in recht überzeugender Weise die Unfähigkeit einer schwachen Wärmestrahlung dartun, an den genannten Arten irgendwelche deutlich sichtbaren thermotropischen Krümmungen zu induzieren.

Die Versuchspflanzen wurden anfangs 5 bis 12 Stunden in einer Entfernung von 20—150 cm der Strahlung des Heizwiderstands ausgesetzt. Eine Krümmung war aber nie zu bemerken. Ich dachte mir jetzt die Möglichkeit, dass ein eventueller thermotropischer Krümmungsimpuls von dem Geotropismus habe gehindert werden können sich geltend zu machen, und schritt daher zur Eliminierung des richtenden Einflusses der Schwerkraft, indem ich die beiden Heizwiderstände nebeneinander aufstellte und die Keimpflanzen vor denselben auf der horizontalen Achse des Klinostaten rotieren liess (wobei selbstverständlich dieselbe Seite der Pflanzen dauernd gegen die Wärmequelle gerichtet war). Jede der genannten drei Arten wurde in dieser Weise 10 bis 13 Stunden in einer Entfernung von 25, 40, 65 und 100 cm exponiert, und zwar in jeder Entfernung einmal bei niedrigerer (14—18°) und einmal bei höherer (19—22°) Lufttemperatur. (Von *Helianthus* wurden jedesmal etwa 5—8, von *Vicia* etwa 7—12 und von *Lepidium* etwa 15—20 Keimlinge ver-

[1]) Diese Art wurde gewählt, weil sie nach Wiesners Angaben besonders empfindlich gegen ultrarote Strahlen sein soll.

wendet.) Es war aber immer noch unmöglich andere Krümmungen als regellos auftretende spontane Nutationen zu entdecken.

Erst als die Versuchsobjekte der Strahlung in sehr geringer Entfernung von dem Heizwiderstand ausgesetzt wurden, konnte endlich eine Krümmung der Wärmequelle entgegen beobachtet werden.

Bei *Vicia* erfolgte die Zukrümmung in einer Entfernung von höchstens 15 cm (Temperatur des Versuchszimmers etwa 20°), und auch hier durchaus nicht an allen Keimlingen. Schon in einem Abstand von 11 cm von dem Heizwiderstand wurden aber die Pflanzen in 12 Stunden von der Hitze getötet.

Ebenso verhielt sich *Lepidium:* 20 cm vom Heizwiderstand konnten keine Krümmungen beobachtet werden, in einer Entfernung von 15 cm oder weniger krümmte sich aber etwa die halbe Anzahl der Keimlinge.

Das Verhalten von *Helianthus* geht aus den im Anhang (S. 84—87) mitgeteilten Versuchsprotokollen hervor. Wie bei *Avena* tritt auch hier die Abhängigkeit der Krümmung nicht nur von der Strahlungsintensität, sondern auch von der im Versuchszimmer herrschenden Lufttemperatur klar zutage: bei 3—11° Lufttemperatur sind 11—15 cm von dem Heizwiderstand entfernt keine regelmässigen Krümmungen zu erzielen, während bei einer Lufttemperatur um 20° herum die Zukrümmung in 14—15 cm fast immer und auch noch in 16—18 cm zuweilen erfolgt. Auch sieht man deutlich, dass, je näher dem Heizwiderstand die Pflanzen aufgestellt sind, desto schneller und kräftiger die Zukrümmung geschieht: in einer Entfernung von 14—15 cm (bei etwa 20° Lufttemperatur) wird die Krümmung gewöhnlich nach etwa 1 Stunde sichtbar, in 10 cm aber erfolgt sie bereits in 15—20 Minuten. Wie ein Vergleich mit den auf S. 16 mitgeteilten Beobachtungen ergibt, ist die untere Temperaturgrenze der Krümmungsreaktion erreicht, wenn in der Mitte des Hypokotyls eine Temperatur von etwas über 28° C herrscht.

Etwa wie *Helianthus* verhält sich wahrscheinlich auch *Zea mais;* doch traten bei *Zea* (besonders am Klinostaten)

sehr starke spontane Nutationen auf, die bei den Versuchen sehr störend wirkten. Die mit *Zea* ausgeführten Versuche finden sich im Anhang (S. 87 f.) referiert. Sie waren nur als vorläufige Orientierung gedacht, konnten aber später nicht komplettiert werden, da es wegen der Zeitverhältnisse unmöglich war keimfähiges Samenmaterial vom Mais zu erhalten.

3. Sind die an Keimsprossen beobachteten Krümmungen nach dem Schema van Tieghems erklärbar?

Unter Umständen — d. h. bei Verwendung von sehr hohen Temperaturen — ist es ganz offenbar, dass die gegen die Wärmequelle hin stattfindenden Krümmungen der Keimsprosse dadurch bedingt sind, dass die Pflanzen einseitig durch die Hitze beschädigt werden. Zwischen diesen mechanisch leicht erklärbaren Krümmungen und denjenigen, die bei mässigeren Temperaturen eintreten, gibt es aber eine ununterbrochene Reihe von Übergängen. (Vgl. z. B. die auf S. 84 ff. angeführten Versuchsprotokolle.) Es liegt daher gewiss der Gedanke nahe zu untersuchen, ob nicht vielleicht alle von mir an Keimsprossen beobachteten Krümmungen auf eine Verlangsamung des Wachstums an der erwärmten Seite infolge Überschreitung des Temperaturoptimums zurückzuführen sind, d. h. ob nicht die fraglichen Krümmungen nach dem Schema van Tieghems erklärt werden können.

Wir wollen zu diesem Zweck die Krümmungen von verschiedenen Seiten etwas näher ins Auge fassen und dabei zusehen, ob die hierbei zu beobachtenden Verhältnisse mit den von van Tieghem entwickelten Vorstellungen über das Zustandekommen der thermotropischen Krümmungen übereinstimmen.

1. Die erste Voraussetzung für die Anwendbarkeit der van Tieghemschen Erklärung auf die in Rede stehenden Erscheinungen bezieht sich auf die Temperaturgrenzen der Reaktion: die gegen die Wärmequelle hin

gerichteten Krümmungen dürfen nur bei Temperaturen oberhalb des Optimums [1]) zustandekommen.

Für *Vicia* und *Lepidium* ist diese Voraussetzung sicher erfüllt, denn an diesen Objekten treten ja die Krümmungen erst bei Temperaturen auf, die dem Maximum schon recht nahe liegen (vgl. S. 25). (Dass *Vicia* und *Lepidium* nicht so leicht wie z. B. *Avena* und *Helianthus* reagieren, liegt wahrscheinlich daran, dass infolge der geringen Dicke des Hypokotyls bei den erstgenannten Keimlingen die zur Krümmung nötige Temperaturdifferenz zwischen den gegenüberliegenden Flanken nicht so leicht zu erzielen ist wie bei den letztgenannten.)

Nicht ganz so klar ist die Sache bei *Helianthus* und *Avena*, die sich der Wärmequelle zukrümmen, sobald die Temperatur in der Mitte des Keimsprosses etwa 28—30° C übersteigt (vgl. S. 24 u. 25). (Diesen beiden Objekten schliesst sich auch *Zea* an.) Eine ganz sichere Entscheidung ist hier nicht möglich, solange wir nicht genauer über die Abhängigkeit der Wachstumsgeschwindigkeit von der Temperatur unterrichtet sind. In Intervallen von mehreren Stunden vorgenommene Messungen sind nämlich in dieser Hinsicht fast wertlos, da es sich in jüngster Zeit gezeigt hat, dass der Temperaturwechsel beträchtliche transitorische Veränderungen der Wachstumsintensität verursachen kann (Vogt 1915, Leitch 1916). Gegenwärtig können wir mithin nur konstatieren, dass die beobachteten Temperaturgrenzen der positiven Krümmungen wenigstens annäherungsweise den Forderungen der van Tieghemschen Theorie entsprechen.

Den positiven Krümmungen oberhalb des Temperaturoptimums entsprechen ja aber der Theorie gemäss negativ gerichtete Krümmungen unterhalb des Optimums. Solche habe ich jedoch nie sicher beobachten können,

---

[1]) Bei der folgenden ziemlich summarischen Betrachtung sehen wir zunächst davon ab, dass sich der Begriff des Temperaturoptimums in jüngster Zeit gegen früher geändert hat infolge des Nachweises, dass zu einer bestimmten Temperatur nicht immer eine konstante Wachstumsgeschwindigkeit gehört.

trotzdem ich zahlreiche Experimente ausgeführt habe, in denen solche der Theorie zufolge zu erwarten wären. Ich verweise in dieser Hinsicht auf die Tabellen 1, 2 und 5 sowie auf die Versuchsprotokolle auf S. 84—87. (In den Versuchen der Tabelle 5, die mit *Avena*-Koleoptilen in Agar-Gelatine-Gallert ausgeführt wurden, war bisweilen sogar eine ganz schwache positive Krümmung der äussersten Spitze zu verspüren, die jedoch nicht immer sichtbar wurde).

Tabelle 5.

Nr.	Temp. I	Temp. II	Versuchsdauer	Zahl der Versuchspflanzen	Reaktion
1	9—11°	18—24°	1 ½ St.	9	Keine Krümmungen.
2	11—13°	23—28°	1 ½ »	7	ebenso
3	9-13°	25—30°	1 ½ »	8	5 vollkommen gerade, 3 schwach +.
4	9—10°	27—31°	1 ½ »	7	Die meisten an der äussersten Spitze ganz schwach +.
5	8—9°	25—29°	1 ½ »	9	ebenso
6	10—11°	25—28°	1 ½ »	8	Einige Pflanzen vollkommen gerade, andere fast unmerklich +.
7	9—11°	25—28°	1 »	9	Fast alle Pflanzen schwach + an der Spitze.
8	8-9°	25—27°	1 »	8	Alle fast gerade.
9	8—10°	25—28°	2 ½ »	10	Alle fast gerade (eher + als —).
10	9-10°	21—23°	1 ½ »	7	6 ±, 1 schwach —.

2. Eine zweite Möglichkeit, die Stichhaltigkeit der van Tieghemschen Auffassung im vorliegenden Falle zu prüfen, bietet die Verfolgung des Krümmungsverlaufes an *Avena*.

Bekanntlich zeigt sowohl die geotropische wie die phototropische Krümmung der *Avena*-Koleoptilen einen recht charakteristischen Verlauf: die Krümmung wird zuerst in dem langsam wachsenden Spitzenteil sichtbar und pflanzt sich dann erst allmählich basalwärts fort (Rothert 1894, Tröndle 1913). Liesse sich ein ähnlicher Verlauf auch bei

den von der Wärmestrahlung verursachten Krümmungen feststellen, so wäre damit das Nicht-Zutreffen der einfachen Erklärung van Tieghems in dem vorliegenden Falle bewiesen, denn nach ihr muss die stärkste Krümmung in der am schnellsten wachsenden Zone stattfinden.

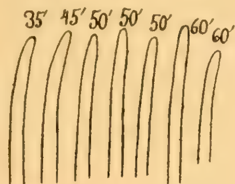


Fig. 2.

In Fig. 2 sind in natürlicher Grösse sieben *Avena*-Koleoptilen abgebildet, die während 35—60 Minuten (die Expositionsdauer jeder Pflanze ist in der Figur angegeben) bei 17—19° Lufttemperatur 14 cm vom Heizwiderstand entfernt gestanden hatten und dann mittels eines dreimal vergrössernden Mikroskopes und eines Abbeschen Zeichenapparats gezeichnet wurden. Schon aus dieser Abbildung geht deutlich hervor, wie sehr die an den bestrahlten Pflanzen zuerst eintretenden Krümmungen von derjenigen abweichen, die die beginnende geo- oder phototropische Reaktion charakterisiert.

Um den Krümmungsverlauf näher zu verfolgen, bediente ich mich der von Marklund (1917, S. 8) angegebenen Methode, nur mit der Modifikation, dass ich mir das Bild der Koleoptile in 5 gleich hohe Teile geteilt dachte und die Abweichung von der Lotlinie für jeden dieser Teile besonders bestimmte. In dieser Weise wurde der Krümmungsvorgang an insgesamt 7 *Avena*-Keimlingen beobachtet. Als Beispiele werden in den Tabellen 6—9 vier derartige Versuche mitgeteilt. (Die Zeit ist vom Beginn der Bestrahlung gerechnet und in Minuten angegeben. Die oberste Zone der Koleoptile ist mit I, die unterste mit V bezeichnet. Das Hypokotyl trat bei sämtlichen Pflanzen kaum über die Erdoberfläche hervor.)

Tabelle 6.

Krümmungsvorgang an einer 20 mm hohen *Avena*-Pflanze. Entfernung vom Heizwiderstand 16 cm. Temperatur im Versuchszimmer 21°.

Zeit	0	30	60	90	120	150
Zone I	0°	9°	14°	14°	11°	11°
» II	0°	9°	14°	19°	19°	17°
» III	3°	6°	11°	14°	21°	21°
» IV	1°	4°	9°	9°	14°	17°
» V	0°	3°	4°	6°	9°	11°

Tabelle 7.

Krümmungsvorgang an einer 24 mm hohen *Avena*-Pflanze. Entfernung vom Heizwiderstand 15 cm. Temperatur im Versuchszimmer 18.5°.

Zeit	0	30	60	90
Zone I	0°	8°	8°	10°
» II	0°	6°	7°	10°
» III	0°	4°	4°	5°
» IV	0°	3°	4°	4°
» V	0°	2°	1°	2°

Tabelle 8.

Krümmungsvorgang an einer 27 mm hohen *Avena*-Pflanze. Entfernung vom Heizwiderstand 15 cm. Temperatur im Versuchszimmer 19°.

Zeit	0	20	40	60	80
Zone I	0°	8°	11°	14°	13°
» II	0°	6°	9°	12°	16°
» III	0°	3°	6°	7°	11°
» IV	0°	2°	3°	4°	6°
» V	0°	1°	2°	3°	3°

Tabelle 9.

Krümmungsvorgang an einer 33 mm hohen *Avena*-Pflanze. Entfernung vom Heizwiderstand 15 cm. Temperatur im Versuchszimmer 20°.

Zeit	0	30	60	90	120	150	180	240
Zone I	0°	10°	15°	20°	18°	16°	13°	8°
» II	0°	9°	15°	20°	22°	21°	20°	10°
» III	0°	7°	11°	20°	25°	20°	20°	11°
» IV	0°	3°	7°	9°	12°	14°	15°	11°
» V	0°	0°	1°	3°	3°	4°	3°	3°

Man sieht, dass der Verlauf der Krümmungsreaktion einigermassen variiert (wegen der geringen Grösse der zu messenden Krümmungswinkel sind die Beobachtungsfehler relativ sehr gross); einige Hauptzüge treten jedoch in allen Versuchen mehr oder weniger klar hervor. Die Krümmung beginnt ganz diffus, etwa gleichzeitig über die ganze Länge der Koleoptile. Eine Zone der maximalen Krümmung [1]) ist nicht deutlich ausgeprägt, scheint aber im Anfang am ehesten in oder etwas oberhalb der Mitte gelegen zu sein (vgl. auch Fig. 2). Die äusserste Spitze gehört dagegen zu den sich am wenigsten krümmenden Zonen.

Ein Vergleich dieser Verhältnisse mit den Angaben Rotherts (1894, S. 28 f.) — wonach die äusserste Spitze der *Avena*-Koleoptile sehr langsam wächst, die Wachstumsintensität aber nach unten zuerst rasch zunimmt, um bereits 6—10 mm unter der Spitze ein Maximum zu erreichen und dann wieder allmählich abzunehmen — ergibt einen befriedigenden Parallelismus zwischen Wachstums- und Krümmungs-

[1]) Als Mass für die Krümmung der einzelnen Zonen sind selbstverständlich nicht die in den Tabellen angeführten Winkel zu nehmen, den die Zonen mit der Lotlinie bilden, sondern der Winkel der in Frage kommenden Zone mit der geradlinigen Verlängerung der nächstunteren Zone.

geschwindigkeit, wie er ja für eine »van Tieghemsche Krümmung» zu erwarten ist.

Wie gänzlich sich dagegen der von der Wärmestrahlung verursachte Krümmungsvorgang von der geotropischen Krümmungsreaktion unterscheidet, tritt sehr augenfällig zutage, wenn wir die Tabellen 6—9 vergleichen mit folgenden der Arbeit Tröndles (1913, S. 191) entnommenen Angaben über die Neigungswinkel der 2 mm langen Zonen von *Avena*-Keimlingen, die 40 Minuten in wagerechter Stellung gehalten sind:

Zone	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Winkel . . .	23°.1	14°.1	8°.0	5°.5	3°.5	1°.7	0°.6	0°.1

Im Anschluss an die Tabellen 6—9 sei noch folgendes bezüglich der durch Wärmestrahlung verursachten Krümmungen hervorgehoben: Die Krümmungen sind immer ziemlich schwach. Schon etwa $^3/_4$ bis 1 Stunde nach Beginn der Krümmung setzt trotz andauernder Bestrahlung eine entgegengesetzt gerichtete Krümmung in der äussersten Spitze der Koleoptile ein. Diese Gegenkrümmung, die wahrscheinlich geotropischer Natur ist, pflanzt sich später allmählich abwärts fort.

3. Bekanntlich ist an *Avena*-Keimlingen bei geo- oder phototropischer Reizung der Koleoptilenspitze eine auffällige basipetale Reizleitung zu bemerken. Der soeben geschilderte Verlauf der durch Wärmestrahlung veranlassten Krümmungen lässt bereits vermuten, dass die Dinge hier anders liegen. Da aber der Nachweis von Reizleitungsvorgängen ein fast sicherer Beweis dafür wäre, dass die fragliche Krümmungsreaktion nicht dem van Tieghemschen Schema entspricht, schien es immerhin erwünscht durch direkt darauf hinzielende Experimente das eventuelle Vorkommen derartiger Prozesse zu entscheiden.

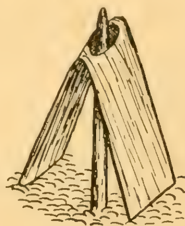


Fig. 3.

Zu diesem Zweck wurden aus Stanniol verfertigte Strahlungsschutze verwendet, die — wie Fig. 3 zeigt — nur die oberste Spitze der Koleoptile frei liessen, den ganzen Basalteil dagegen gegen Bestrahlung schützten. (Das Loch wurde so gross gewählt, dass die Koleoptile gar nicht mit dem Stanniol in Berührung kam.) Unter den in einer Reihe wachsenden Keimlingen wurde jede zweite Pflanze mit einem derartigen Schutz versehen, während die dazwischen stehenden als Kontrollpflanzen dienten und ungeschützt blieben. Die Pflanzen wurden dann (bei 17—21° im Versuchszimmer) 14 cm vom Heizwiderstand entfernt der Strahlung während 3 Stunden ausgesetzt. Die Länge der der Strahlung ausgesetzten Spitze betrug am Anfang des Versuches 2—3 mm, am Ende aber — infolge des stattgefundenen Zuwachses — etwa 4—6 mm. Fast sämtliche Kontrollpflanzen waren bereits nach Ablauf einer Stunde deutlich positiv gekrümmt, die hinter den Stanniolschirmchen wachsenden Pflanzen blieben dagegen während der ganzen Bestrahlung fast gerade [1]). (In dem alleroberslen Teil der Koleoptile ist die Wachstumsintensität bekanntlich sehr gering (vgl. Rothert l. c. S. 29). Dann wurden sämtliche Pflanzen noch weitere 2—3½ Stunden ohne Bestrahlung sich selbst überlassen. Nach dieser Zeit zeigte sich bei genauer Musterung der Pflanzen folgendes: Unter den 17 Kontrollpflanzen waren 2 gerade; die übrigen waren alle — meistens sogar sehr kräftig — positiv gekrümmt, und zwar fast von der Basis an (nur an der Spitze war die Neigung infolge der früher erwähnten Gegenkrümmung kleiner). Unter den 18 mit Stanniolschirmchen versehenen Pflanzen waren dagegen 15 vollkommen gerade (eine eventuelle von der Strahlung bewirkte positive Krümmung der äussersten Spitze war in der Zwischenzeit ausgeglichen worden), 1 war schwach positiv und 2 schwach negativ gekrümmt.

[1]) Während eines Versuches, wo die Bestrahlung 5 Stunden dauerte und der über dem Stanniol hervortretende Teil der Koleoptilen am Ende des Experimentes etwa 8—10 mm betrug, war eine kräftige Krümmung dieses obersten Teiles zu bemerken; der untere Teil verblieb dagegen auch jetzt fast gerade.

Durch diese Experimente war also bewiesen, dass die einseitig bestrahlte Koleoptilenspitze nicht befähigt ist hierbei einen Reiz aufzunehmen und durch Fortleitung der Erregung die basalwärts gelegenen Teile zu einer Krümmung zu veranlassen.

4. Ein bemerkenswerter Umstand bei der durch Wärmestrahlung veranlassten Krümmungsreaktion ist das Fehlen einer sichtbaren Nachwirkung.

Sechs verschiedene Versuche wurden folgendermassen ausgeführt: Eine *Avena*-Pflanze wird 15 bis 40 Minuten der Strahlung ausgesetzt (Z. T. 18—22°, Entf. 14—17 cm), sodass eine eben deutlich sichtbare Krümmung (7—13°) eintritt. Jetzt wird die Bestrahlung plötzlich unterbrochen und das weitere Verhalten der Pflanze wie in den auf S. 29 ff. beschriebenen Versuchen genau beobachtet. In sämtlichen Fällen hörte der Krümmungsprozess sofort beim Abbrechen der Bestrahlung vollständig oder fast vollständig auf: die grösste Zunahme der Krümmung betrug nicht mehr als 3°. Ein deutlicher Ausgleich der Krümmung wurde auch erst nach etwa 45 Minuten beobachtet, wo er in gewöhnlicher Weise an der Spitze einsetzte.

Wenn auch alle Nachwirkungserscheinungen bei einer van Tieghemschen Krümmung nicht a priori vollkommen ausgeschlossen sind, wird man doch in dem Fehlen einer sichtbaren Nachwirkung bei den durch Wärmestrahlung verursachten Krümmungen eine Eigenschaft erblicken müssen, die mit dem Erklärungsversuch van Tieghems gut vereinbar ist und die darauf hindeutet, dass diese Krümmungen eine Erscheinung einfacherer Art darstellen als manche andere tropistische Reaktionen.

Zusammenfassung. — Wir haben oben eine Reihe von Tatsachen festgestellt, die für die Deutung der von mir beobachteten, durch Temperaturdifferenzen an Keimsprossen bewirkten Krümmungen als v a n T i e g h e msche Reaktionen sprechen. Diese Tatsachen sind: — 1. Die untere Temperaturgrenze der fraglichen Krümmungen liegt entweder oberhalb des Temperaturoptimums oder sie fällt ungefähr mit demselben zusammen. Eine obere Temperaturgrenze der Reaktion gibt es dagegen nicht; vielmehr gehen die bei mässigen Temperaturen zustandegekommenen Krümmungen ohne wahrnehmbare Grenze in solche Krümmungen über, die von einer sichtlichen Schädigung der höher temperierten Flanke durch die Hitze verursacht sind. — 2. An *Avena*-Keimlingen herrscht ein annähernder Parallelismus zwischen Wachstumsintensität und Krümmungsgeschwindigkeit der verschiedenen Zonen. — 3. Eine Reizleitung ist an *Avena*-Keimlingen nicht nachzuweisen. — 4. Eine ausgeprägte Nachwirkung ist (bei mässiger Strahlungsintensität) nicht zu bemerken. —

Gegen die in Rede stehende Auffassung spricht, soviel ich sehen kann, allein der Umstand, dass die von der Theorie geforderten, von der Wärmequelle weggerichteten Krümmungen nicht unter den in meinen Versuchen realisierten Bedingungen erzielt worden sind. Eine sichere Erklärung dieses Umstandes kann ich nicht geben. Doch möchte ich kurz auf einige Umstände hinweisen, die vermutlich in dieser Hinsicht von Bedeutung sind:

1. Es ist sehr wahrscheinlich, dass bei den Versuchen mit Wärmestrahlung die übermässige Transpiration an der bestrahlten Seite beim Zustandekommen der positiven Krümmung mitgewirkt hat. G o d l e w s k i (1890) hat nämlich an Keimpflanzen von *Phaseolus* und V o g t (1915, S. 236 f.) an *Avena* beobachtet, dass eine plötzliche Transpirationssteigerung eine vorübergehende Verlangsamung des Wachstums zur Folge hat. — 2. Das Ausbleiben der negativen Krümmungen in den Experimenten mit Wärmeleitung beruht vielleicht darauf, dass die Wachstumsbedingungen in der Agar-Gelatine ungünstig sind; die positive Krümmung

bei höheren Temperaturen könnte in dem Falle auf einer Turgorsenkung an der erwärmten Seite beruhen. Eine solche wird vielleicht immer durch supraoptimale Temperaturen als Folge einer Permeabilitätssteigerung bewirkt. — 3. Fällt die Wachstumskurve steiler vom Temperaturoptimum gegen das Maximum als gegen das Minimum, so muss — wie af Klercker (1891, S. 779—782) ausführlich auseinandergesetzt hat — die positive van Tieghemsche Krümmung stärker ausfallen als die negative.

Dass die von mir an Keimsprossen beobachteten Krümmungen tatsächlich van Tieghemsche Reaktionen sind, lässt sich also noch nicht beweisen, kommt mir jedoch in Anbetracht sämtlicher hierhergehöriger Erfahrungen höchst wahrscheinlich vor. Um die Frage endgültig zu entscheiden, muss ein entsprechender Weg eingeschlagen werden, wie ihn Blaauw bei seinen Untersuchungen über die phototropischen Krümmungen gegangen ist: zuerst muss der Einfluss allseitiger Temperaturveränderungen auf die Wachstumsgeschwindigkeit (die primäre Wärmewachstumsreaktion könnte man sagen) etwa wie in den Arbeiten Vogts und Miss Leitch', aber noch vielseitiger und genauer studiert werden, erst hiernach folgt ein ebenfalls quantitatives Studium von Krümmungen, die durch genau definierte Temperaturdifferenzen an denselben Objekten hervorgerufen werden.

Ist einmal der bündige Beweis für die van Tieghemsche Natur dieser Reaktionen erbracht, dann bieten selbstverständlich die Krümmungen an sich kein besonderes Interesse, denn sie erscheinen nur noch als mechanisch genau erklärbare Folgen des eigentlichen physiologischen Vorganges, nämlich der ungleichseitigen Wärmewachstumsreaktion.

Thermotropismus der Leinpflanze.

Wir haben bereits in der geschichtlichen Einleitung konstatiert, dass nach den Beobachtungen Vöchtings und Pohls bei *Anemone stellata* und *Linum usitatissimum* eine interessante, ganz eigenartige thermo-

tropische Empfindlichkeit vorkommt, dass aber die betreffenden Beobachtungen sehr einer Vervollständigung bezw. einer Bestätigung bedürfen.

Was speziell die Beobachtungen Pohls betrifft, ist es ja nur ganz natürlich, dass dieselben viele Lücken aufweisen müssen, da sie ohne alle Laboratoriumshilfsmittel ausgeführt sind. Dazu kommt noch, dass seine Angaben z. T. so aufsehenerregender Art sind, dass es schwer fällt ihnen ohne vorangehende Bestätigung volles Vertrauen zu schenken. (Ich denke hier z. B. an die Behauptung Pohls, dass die Strahlung, die von einer Hauswand ausgesandt wird, die in den letzten 4 bis 5 Stunden nicht dem Sonnenschein ausgesetzt gewesen ist, immer noch ausreiche, um 13 m entfernt wachsende Pflanzen zu einer Drehung zu veranlassen.) Andere, an sich wohl richtige Beobachtungen sind vielleicht anders zu deuten, als es Pohl tut. Es scheint z. B. recht fraglich, ob die abendliche Senkung des Gipfels wirklich, wie Pohl annimmt, von dem Wärmeüberschuss des Bodens gegenüber der sich abkühlenden Luft bedingt wird; a priori scheint es wohl natürlicher diese Erscheinung als eine nyktinastische Reaktion aufzufassen.

Negative Ergebnisse. Um diese und ähnliche Fragen einer experimentellen Prüfung zu unterziehen, wurden zu verschiedenen Zeiten im Laufe des Sommers 1916 Leinpflanzen in mit guter Gartenerde gefüllte hölzerne Kästen ausgesät und die Pflanzen im Freien unter sorgfältiger Bewässerung aufgezogen.

Die Experimente begannen im August, wo zahlreiche Pflanzen sich im reizempfänglichen Zustand befanden, sodass sie in der von Pohl beschriebenen Weise mit ihrem Gipfel dem Laufe der Sonne folgten.

Als ein Cylinder aus Zinkblech (40 cm hoch und 28 cm im Durchmesser) über die Pflanzen gestülpt wurde, blieb jedoch die Bewegung aus.

Es wurden dann im Dunkelzimmer Versuche über die Wirkung einseitiger Wärmestrahlung angestellt. Als Strahlungsquelle dienten entweder die vorhergenannten Heizwiderstände oder eine grössere Eisenblechplatte, die von dem

Heizwiderstand auf etwa 100° C erhitzt wurde. Fünfzehn derartige Versuche wurden ausgeführt. Die Temperatur im Dunkelzimmer betrug 19—24°. Jede Bestrahlung dauerte 4—6 Stunden. Der Abstand von der Strahlungsquelle wurde zwischen 20 und 160 cm variiert, sodass die Temperatursteigerung, die von einem bei den Pflanzen aufgehängten berussten Thermometer angezeigt wurde, zwischen etwa 10° und einem kaum messbaren Betrag wechselte. Irgendeine ausgesprochene Reaktion, sei es in positiver oder negativer Richtung, war aber nie zu bemerken. Ebensowenig Erfolg hatten einige in derselben Weise ausgeführte Versuche, die in einem Zimmer mit diffusem Tageslicht und bei einer Temperatur von 15—18° C stattfanden.

Die von mir untersuchten Leinpflanzen schienen also nicht für Wärmestrahlung empfindlich zu sein. Dagegen reagierten sie schnell und energisch auf genügend intensive einseitige Beleuchtung, auch wenn die Wärmewirkung des angewandten Lichtes ganz klein war. (Die betreffenden Experimente wurden derart ausgeführt, dass über die Pflanzen eine S e n e b i e r-Glocke gestülpt war, die eine Lösung von 500 gr $Fe\,SO_4 . 7$ aq auf 8 l Wasser enthielt; dann wurde eine Osram-Lampe, deren Lichtstärke 25 Normalkerzen betrug, dicht an der Glocke in einem sonst dunklen Zimmer aufgestellt.) Ich musste daher schliessen, dass die auch von mir beobachtete Drehung der Sprossgipfel, dem Lauf der Sonne folgend, von den L i c h tstrahlen, nicht aber von der W ä r m e des Sonnenscheins bewirkt war.

Positive Resultate. — Es ist ja aber immer die grösste Vorsicht geboten, wenn man auf Grund negativer Ergebnisse die Richtigkeit anderer, positiver Beobachtungen bestreiten will. Daher, und da auch P o h l Verschiedenheiten in der Empfindlichkeit der Leinpflanzen gegen Wärmestrahlung erwähnt, wurden die Experimente im Sommer 1918 in kleinerem Massstabe wiederholt, obwohl mir, da ich zu dieser Zeit auf dem Lande wohnte, hier leider keine Laboratoriumshilfsmittel zur Verfügung standen.

Die Pflanzen waren zu fünf bis zehn in hölzernen Kästen ausgesät, deren Tiefe etwa 50 cm und deren Querschnitt ca.

18×18 cm betrug, und im Freien aufgezogen. Etwa 25 Tage nach der Aussaat, als die Pflanzen ca. 15—18 cm hoch waren, folgten bereits ihre Gipfel dem Lauf der Sonne, und schon ehe die Kotyledonen vergilbt waren, begann die Empfindlichkeit deutlich abzunehmen.

Die Experimente wurden in einer Küche ausgeführt, wo die Strahlung von einer eisernen Ofentür (30×40 cm) mit mattschwarzer Oberfläche geliefert wurde. Die Temperatur der Ofentür wurde dadurch in ganz roher Weise geschätzt, dass ich beobachtete, wie viele Sekunden ich die Fingerspitzen bezw. den Handrücken gegen die Ofentür gedrückt halten konnte; diese Werte wurden dann mit denjenigen verglichen, die durch Anlegen der Hand an einen mit heissem Wasser, dessen Temperatur mittels eines Thermometers gemessen war, gefüllten eisernen Topf erhalten wurden. Mittels eines Schirmes wurde dafür gesorgt, dass die Pflanzen nicht von dem aus zwei seitlich gelegenen Fenstern hereinströmenden diffusen Tageslicht direkt getroffen wurden. Von der annähernden Gleichmässigkeit der Beleuchtung der Pflanzen überzeugte ich mich — besonders bei auffallenden Reaktionen derselben — dadurch, dass ich einen Bleistift senkrecht gegen ein wagerecht gehaltenes Blatt weissen Papiers hielt und dabei die Richtung des eventuellen Schattens beobachtete.

Wegen der oben angedeuteten Mängel in der Anordnung der Versuche sowie deren leider allzu geringer Zahl sind die im Sommer 1918 erzielten Resultate weder so vollständig noch so fest fundiert, als erwünscht wäre. Um ein Urteil über die Berechtigung der von mir gezogenen Schlüsse zu ermöglichen, werden sämtliche elf hierhergehörende Versuche im Anhang S. 88—91 referiert.

Das Bemerkenswerteste, was sich aus diesen Experimenten entnehmen lässt, ist die Tatsache, dass — im Gegensatz zu meinen früheren Erfahrungen, aber in Übereinstimmung mit den Angaben Pohls — ein positiver Thermotropismus bei den Leinpflanzen tatsächlich vorkommt. Oder richtiger: vorkommen kann, denn irgendeine Veranlassung, die Richtigkeit meiner im

Jahre 1916 gemachten Beobachtungen zu bezweifeln, habe ich nicht [1]), umsoweniger als auch im Sommer 1918 ganze Sätze von Pflanzen beobachtet wurden, die — obwohl scheinbar im rechten Alter sich befindend — unter den obwaltenden Verhältnissen nicht auf die Wärmestrahlung reagierten (Versuch 10 und 11). (Auch Pohl erwähnt ja ein Variieren der Empfindlichkeit, das er auf Unterschiede in den Ernährungsbedingungen der Leinpflanzen zurückführt.)

Am auffälligsten geht das Vorkommen des thermotropischen Reaktionsvermögens aus den Versuchen 4 und 5 hervor, und auch in den Versuchen 2, 6, 8 und 9 sind Anzeichen davon mehr weniger deutlich zu verspüren. Doch geht aus meinen Experimenten bestimmt hervor, dass bei meinen Pflanzen eine Empfindlichkeit für eine auch nur annähernd so schwache Strahlung, wie die von Pohl als noch wirksam angegebene, nicht vorkam. Ob dieser Unterschied der Resultate auf Verschiedenheiten zwischen den von uns verwendeten Versuchspflanzen zurückzuführen ist oder ob die fraglichen Angaben Pohls auf einer unrichtigen Deutung der von ihm gemachten Beobachtungen beruhen, darüber kann ich mich nicht mit Bestimmtheit äussern.

Bemerkenswert ist auch die Tatsache, dass von mir nie eine deutliche negativ thermotropische Reaktion beobachtet werden konnte, trotzdem die auf die Pflanzen einwirkende Strahlung oft (besonders im Versuch 8) so intensiv war, dass nach den Angaben Pohls eine negative Reaktion zu erwarten gewesen wäre.

Thermotropismus von Phycomyces nitens.

Wie früher (S. 2) erwähnt, konnte Steyer bei den Sporangienträgern von *Phycomyces* gar keinen Thermotropismus nachweisen.

---

[1]) Vielleicht jedoch, dass ein Teil der im Jahre 1916 angewandten Pflanzen zu alt war.

Die Ursache die mich zu einer Neuuntersuchung dieser Frage bewogen hat, bestand in einigen mir freundlichst mitgeteilten Erfahrungen Prof. Dr. Elfvings, die das Vorhandensein einer thermotropischen Empfindlichkeit bei *Phycomyces* nicht unwahrscheinlich machten.

Die fraglichen Experimente Prof. Elfvings waren im Jahre 1900 ausgeführt, sind aber nie veröffentlicht worden. Sie waren nach zwei verschiedenen Methoden ausgeführt, von denen die eine hier kurz geschildert werden soll: Auf eine Platte von »Fiber» (ein von den Elektrotechnikern benutztes nichtleitendes Material) war ein Platin- oder anderer Metalldraht fest aufgewickelt, doch so, dass die Windungen einander nicht berührten. Eine solche mit hinreichend langen Zuleitungsdrähten versehene Platte wurde senkrecht über eine *Phycomyces*-Kultur befestigt und darüber ein grosses Dekantierglas gestülpt. Das Ganze wurde im Dunklen aufgestellt. Wenn jetzt ein elektrischer Strom von genügender Stärke durch den Draht geleitet wurde, fand ein deutliches Wegkrümmen der Sporangienträger statt.

Auch ich führte einige orientierende Versuche nach der soeben geschilderten Methode aus. (Jedoch mit der Modifikation, dass die Fiberplatte weggenommen war, um den ganzen Wärmekörper vor jedem Versuch in der Bunsenflamme ausglühen zu können.) Bei genügender Stromstärke wurde wiederholt ein mässiges Wegkrümmen der dem Wärmekörper am nächsten stehenden Sporangienträger beobachtet.

Man könnte versucht sein diese Reaktion als eine thermotropische anzusprechen. (Der Umstand, dass Steyer bei *Phycomyces* keinen Thermotropismus hatte nachweisen können, wäre in dem Falle dadurch zu erklären, dass er, wie es scheint, mit ziemlich schwacher Strahlung gearbeitet hat). Die von Prof. Elfving und mir gemachten Beobachtungen sind aber nicht eindeutig, denn es ist zu beachten, dass in den oben referierten Versuchen nicht nur eine einseitige Wärmezufuhr durch Strahlung, Leitung und Konvektionsströme stattfand, sondern dass die Pflanze zugleich sehr beträchtlichen Feuchtigkeitsdifferenzen ausgesetzt war, die ebensogut die Ursache der Krümmung darstellen könnten.

Jedenfalls schien es also angezeigt die Frage einer erneuten Prüfung zu unterziehen. Dabei sollte erstens die Wärmezufuhr ausschliesslich durch Strahlung geschehen; zweitens sollte der Strahlung eine beliebig grosse Intensität gegeben werden können; drittens aber sollten alle Feuchtigkeitsdifferenzen der Luft vermieden werden. Die unter Beachtung der erwähnten Gesichtspunkte ausgedachte Versuchsanordnung ist in Fig. 4 schematisch abgebildet.

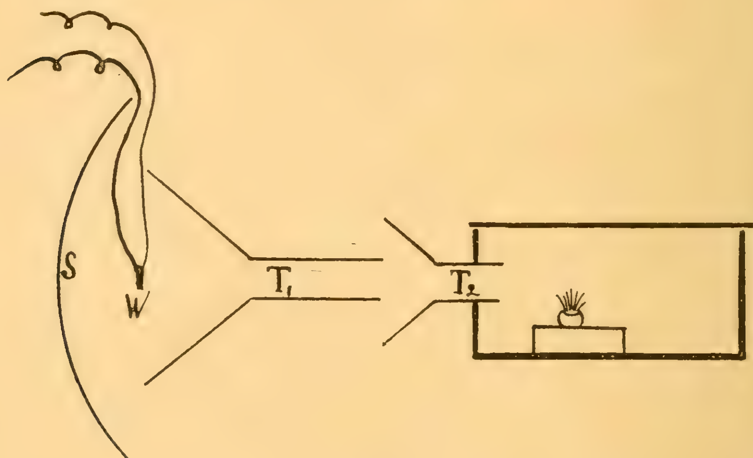


Fig. 4.

Als Wärmequelle (*W*) diente ein aus vier Porzellanstäbchen zusammengefügter Rahmen (3.5×4.5 cm), auf den ein Eisendraht (0.2 mm im Durchmesser) möglichst dicht aufgewickelt war, doch so, dass die Windungen einander nicht berührten. Durch zwei an den Enden des Drahtes befestigte Kupferdrähte konnte ein elektrischer Strom, dessen Stärke zwischen 1.02 und 1.08 Ampère schwankte, durch den Eisendraht geleitet werden, sodass dieser fast bis zum Glühen erhitzt wurde. Da zudem die Oberfläche des Drahtes bald von einer Oxydschicht bedeckt wurde, war die ausgesandte Strahlung ziemlich intensiv. Die Strahlung wurde von einem grossen, versilberten Konkavspiegel (*S*) ohne Glas vorwärts reflektiert und von einem aus blankem Weissblech verfertigten Trichter (T_1) (Totallänge 30 cm, Durch-

messer des cylindrischen Teiles 5 cm) aufgesammelt und fortgeleitet. Schliesslich gelangte die Strahlung durch einen ähnlichen, aber kleineren Trichter (T_2) in einen 34 cm langen, 28 cm breiten und 16 cm hohen hölzernen Kasten, der innen mit feuchtem Fliesspapier ausgekleidet und mit einem lose schliessenden Deckel versehen war. In diesem Kasten wurde die *Phycomyces*-Kultur so aufgestellt, dass sie von der einseitig anprallenden Strahlung getroffen wird, die natürlich desto intensiver ist, je näher dem Trichter die Kultur aufgestellt worden ist. Ein Thermometer mit berusster Kugel zeigte in verschiedenen Abständen von der inneren Mündung des Trichters T_2 die unten angegebenen Temperatursteigerungen, wenn der Strom geschlossen wurde:

Abstand	1	3	4	7	10 cm
Temperatursteigerung ...	7.2°	5.2°	4.2°	2.0°	1.4° C

Diese Temperatursteigerungen sind ausschliesslich von der Strahlung bewirkt, denn irgendwelche warmen und trockenen Luftströme können nicht von der wenigstens 50 cm entfernten Wärmequelle bis an die Versuchsobjekte gelangen, da die erwärmte Luft zwischen S und T_1 sowie zwischen T_1 und T_2 aufsteigen wird. (Indes muss bemerkt werden, dass trotz dem Fehlen einer psychrometrischen Differenz die Transpiration doch infolge der Temperaturerhöhung einseitig gesteigert gewesen sein muss. Dies zu umgehen scheint aber fast unmöglich.) — Die Versuche wurden natürlich im Dunkelzimmer ausgeführt (Temp. 18—24°).

Tabelle 10.

Nr.	Dauer des Versuches (Stunden)	Entf. von T_2 (cm)	Reaktion
1	8	1	Keine deutliche Reaktion (eher + als —).
2	9 ½	1	Die vorne stehenden Sporangienträger sind kürzer als die übrigen. Sonst keine Reaktion.
3	10	2	Ebenso.
4	5 ½	2	»
5	13	3	Keine deutliche Reaktion (eher + als —).
6	7 ½	3	Keine Reaktion.
7	8	4	Ebenso.
8	6 ½	4	»
9	?	7	»
10	13	9	»
11	13	10	Undeutliche positive Krümmung?
12	6	10	Keine Reaktion.
13	?	10	Ebenso.

Wie aus den oben zusammengestellten Versuchsprotokollen hervorgeht, war trotz den innerhalb weiter Grenzen variierten Strahlungsintensitäten, die in einigen Versuchen die von Steyer geprüften Intensitäten gewiss bedeutend überstieg, keine deutliche Reaktion zu verzeichnen [1]). Die nach der zuerst angewandten Methode erzielte Reaktion kann also kaum als eine thermotropische angesehen werden.

[1]) Die in den Versuchen 2—4 bei den dem Trichter am nächsten stehenden Sporangienträgern beobachtete Wachstumshemmung ist offenbar der zu hohen Erhitzung oder vielleicht eher der zu sehr gesteigerten Transpiration zuzuschreiben. — Die in drei Fällen (1, 5 und 11) notierte fast unmerkliche Krümmung gegen die Wärmequelle ist vielleicht — wenn es sich nicht um eine rein spontane Erscheinung handelt — in der Weise zu erklären, dass (etwa durch ein zufälliges Ansteigen der Stromstärke oder dergleichen) eine stärkere Erhitzung des Eisendrahtes zustandegekommen war, was eine phototropische Reaktion durch rotes oder kurzwelliges ultrarotes Licht veranlasste.

Doch muss ich bedauern, dass ich nicht auch einige kürzere Versuche angestellt oder die Versuche in der Weise angeordnet habe, dass die Versuchspflanzen während der ganzen Expositionszeit hätten beobachtet werden können. Es ist nämlich nicht ganz undenkbar, dass eine in kurzer Zeit eingetretene thermotropische Krümmung sich später ausgeglichen hätte.

Thermotropismus der Wurzeln.

1. *Methodisches.*

Mit Ausnahme der auf S. 64 erwähnten Experimente mit Keimwurzeln von *Helianthus annuus* sind sämtliche Versuche mit Keimwurzeln von *Pisum sativum* (und zwar der *Concordia* genannten reinen Linie) ausgeführt worden. Die Samen wurden erst 24 Stunden in Wasser eingeweicht und dann in feuchtem Sägemehl ausgesät. Bei einer Temperatur von 18—20° C haben die Keimwurzeln 48 Stunden später eine für die Versuche geeignete Länge von 20—35 mm erreicht.

Die von mir benutzte allgemeine Versuchsmethodik stimmt im Prinzip mit derjenigen der früheren Untersucher überein:

Ein 15 cm hoher, 24 cm langer und 20 cm breiter Kasten aus Zinkblech ist durch zwei gegen die Längswände senkrecht stehende Scheidewände (ebenfalls aus Zinkblech) in drei Abteilungen geteilt. Von den beiden seitlichen Abteilungen ist die eine mit einer Einflussröhre (unten) und einer Abflussröhre (oben) versehen, sodass sie vom Wasser aus der Wasserleitung (Temperatur je nach der Jahreszeit 9—15°) durchflossen werden kann. Wenn noch niedrigere Temperaturen gewünscht waren, wurde die fragliche Abteilung mit einer Mischung von Wasser und Schnee gefüllt. Waren dagegen höhere Temperaturen erforderlich, so wurde das Wasser in dieser ebenso wie in der zweiten seitlichen Abteilung mittels eines Thermoregulators auf gewünschter Temperatur gehalten.

Die mittlere Abteilung, die 58 mm breit ist, wurde vor jedem einzelnen Versuch mit feuchten, lockeren Sägespänen angefüllt. Etwa eine Stunde, nachdem das Wasser in den beiden seitlichen Abteilungen seine definitive Temperatur erreicht hatte, wurden mit einem am Ende kapillar ausgezogenen Glasstab in Reihen geordnete Löcher in das Sägemehl gestochen und die Wurzeln in diese eingebracht. Da das Sägemehl bei Verwendung von hohen Temperaturen dicht an der warmen Wand schnell austrocknet, wurden die Wurzeln derselben nie mehr als höchstens auf 12 mm genähert. Um Verwechslungen zu vermeiden, war die rechte Flanke der Keimpflanzen immer gegen die warme Wand gewendet. Da ein Aufheben und Wiedereinstechen der Wurzeln während des Versuches leicht Störungen hätte verursachen können, wurden die Pflanzen immer bis zum Ende des Versuches ungestört gelassen.

Die Temperatur an den Wurzeln wurde gewöhnlich ganz einfach aus derjenigen der beiden seitlichen Abteilungen und den betreffenden Entfernungen berechnet.

Am Ende des Versuches wurde jede Wurzel unter Benutzung eines etwa dreimal vergrösserndes Mikroskopes und eines Abbeschen Zeichenapparats gezeichnet. An den so erhaltenen Bildern wurde dann der Krümmungswinkel gemessen.

Da die *Pisum*-Wurzeln nicht phototropisch empfindlich sind, konnten die Versuche in einem gewöhnlichen (nicht verdunkelten) Zimmer ausgeführt werden. Die Temperatur im Versuchszimmer betrug etwa 18 bis 21° C.

Obwohl das verwendete Samenmaterial, wie gesagt, derselben reinen Linie angehörte und die Keimung sehr regelmässig verlief, kamen nichtsdestoweniger grosse Verschiedenheiten im thermotropischen Reaktionsvermögen zum Vorschein. Erstens reagierten alle Wurzeln desselben Satzes nicht gleich stark, was eigentlich wohl begreiflich erscheint, wenn man bedenkt, dass die Temperaturverhältnisse sich recht ungleichartig gestalten müssen, wenn die ja ziemlich feinen Wurzeln in ein so grobheterogenes Medium gebracht werden, wie es das lockere Sägemehl mit seinen lufterfüllten

Zwischenräumen darstellt. Zweitens aber kamen auffallend grosse Unterschiede im Verhalten ganzer zu verschiedenen Zeiten reagierender Sätze vor. Man empfängt am ehesten den Eindruck, als ob kleine unvermeidliche Milieuverschiedenheiten entweder während der Aufzucht des Versuchsmaterials oder während der Experimente das Resultat merkbar beeinflussten. Als praktische Konsequenzen ergeben sich aus diesen an sich recht lästigen Verhältnissen die Sätze, 1. dass zur Erzielung zuverlässiger Ergebnisse ein ziemlich umfassendes Versuchsmaterial vonnöten ist, und 2. dass nur die Reaktionen g l e i c h z e i t i g reagierender Wurzeln quantitativ untereinander vergleichbar sind.

2. *Der Reizanlass.*

Die allererst zu entscheidende Frage inbezug auf die sogenannten thermotropischen Reaktionen der Wurzeln ist selbstverständlich die, ob sie wirklich von Temperaturdifferenzen veranlasst sind, d.h. ob sie also tatsächlich thermotropischer Natur sind, oder ob sie vielleicht durch irgendeinen ganz anderen Reiz ausgelöst werden. Wie unberechtigt es wäre diese Frage ohne weiteres in dem erstgenannten Sinne zu beantworten, geht z. B. aus dem Umstand klar hervor, dass ja H o o k e r unlängst (in einer Weise, die von J o s t (1915) sogar als nach seiner Ansicht einwandfrei bezeichnet worden ist) bewiesen zu haben glaubt, dass die fraglichen Reaktionen durch positiven Hydrotropismus bewirkt seien und dass mithin den Wurzeln eine thermotropische Empfindlichkeit vollständig abgehe.

Ausser geleiteter Wärme, Wärmestrahlung und Feuchtigkeitsunterschieden wären dann noch Luftströmungen sowie durch die Hitze verursachte einseitige Traumen als Reizanlass denkbar, und es empfiehlt sich daher die eventuelle Bedeutung jedes der genannten Faktoren einer besonderen Prüfung zu unterziehen.

Die Feuchtigkeitsunterschiede. — Obwohl ein Trocknerwerden des Sägemehls an der erwärmten Wand bei den

thermotropischen Experimenten nicht zu vermeiden ist und sich oft sogar durch eine hellere Färbung des Sägemehls deutlich bemerkbar macht, müssen gegen die Hookersche Deutung der »thermotropischen» Krümmungen als hydrotropische Reaktionen doch einige ernstliche Einwände erhoben werden.

Was erstens die negativ thermotropische Krümmung betrifft, fällt es auf, dass sie immer in sehr kurzer Zeit zustandekommt (bei *Pisum* ist sie nach meinen Beobachtungen oft schon nach 15—20 Minuten sichtbar, und die *Raphanus*-Wurzeln sind nach Miss Eckerson (1914, S. 256) bereits nach 20 Minuten sogar kräftig gekrümmt), wogegen die hydrotropischen Krümmungen der Wurzeln erst nach Verlauf einer ziemlich langen Latenzzeit einzutreten pflegen. (Für *Lupinus albus* beträgt die hydrotropische Reaktionszeit nach Hooker (1915) etwa 6 Stunden.) Diese Tatsache allein macht schon die behauptete hydrotropische Natur der bislang als thermotropisch bezeichneten Reaktionen sehr unwahrscheinlich [1]).

Auch durch direkte Experimente habe ich den nicht-hydrotropischen Charakter dieser Reaktionen in sehr einfacher Weise beweisen können. Zu diesem Zweck wurde der Zinkkasten mit Sägemehl von zwei verschiedenen Feuchtigkeitsgraden angefüllt, und zwar so, dass der zu erwärmende Teil mit dem feuchteren, der abzukühlende Teil aber mit dem trockneren Sägemehl gefüllt wurde. (Um eine scharfe Grenze zwischen den beiden Gebieten zu bekommen, wurde während des Einfüllens ein dünnes Eisenblech an der Grenze in vertikaler Stellung gehalten.) Dann wurde die Temperaturdifferenz hergestellt und die Wurzeln gerade an der Grenze zwischen den feuchteren und trockneren Sägespänen eingestochen. Wäre der Hydrotropismus ausschlaggebend für das Verhalten der Wurzeln, so hätte die Krümmung jetzt in

---

[1]) Hooker (1914, S. 152) sucht diesen (von ihm freilich gar nicht erwähnten) Widerspruch dadurch zu mildern, dass er dem Traumatotropismus eine nicht näher erklärte Rolle als »mitwirkender und beschleunigender» Faktor zugesteht. Von der Bedeutung des Traumatotropismus wird später (S. 52 f.) die Rede sein.

umgekehrter Richtung wie sonst ausfallen müssen. Dies war jedoch nicht der Fall. Von 51 in dieser Weise geprüften Wurzeln (in 6 verschiedenen Experimenten bei einem Temperaturfall von etwa 6.2° pro cm und einer Temperatur von 33—44°) krümmten sich nämlich 43 wie gewöhnlich negativ thermotropisch — also von der in diesem Falle feuchteren Seite weg! — und 8 blieben gerade. Keine einzige Wurzel hatte sich nach der feuchteren Seite hin gekrümmt. — Dass das Sägemehl tatsächlich noch am Ende des Versuches an der wärmeren Seite feuchter war, konnte direkt an seiner dunkleren Färbung gesehen werden. Dasselbe wurde ausserdem noch dadurch bestätigt, dass ich, wenn die Reaktion stattgefunden hatte, Proben des Sägemehls zu beiden Seiten der Wurzeln entnahm und ihren Wassergehalt durch Trocknen bestimmte.

Noch viel schlimmer steht es mit dem Versuche Hookers, die positiv thermotropischen Krümmungen auf den Hydrotropismus der Wurzeln zurückzuführen. Irgendwelche Experimente, die das Ausbleiben der positiven Krümmungen beim Vermeiden von Feuchtigkeitsdifferenzen zeigen würden, führt er nicht an. Vielmehr stützt er seine diesbezügliche Auffassung, wie es scheint, ausschliesslich auf eine offenbar unrichtige theoretische Überlegung. Er schreibt: »Warm air is capable of holding more water vapor than cold air. The positively hydrotropic roots bend toward the warmer sawdust, where the interstitial air-spaces offer a moister atmosphere» (Hooker, 1914, S. 152).

Es genügt, um die Hinfälligkeit dieses Schlusses zu zeigen, darauf hinzuweisen, dass ja nicht die absolute, sondern die relative Luftfeuchtigkeit in erster Linie physiologisch von Bedeutung ist. Die relative Luftfeuchtigkeit aber ist in den wärmeren Teilen des mit Sägemehl gefüllten Zinkkastens gewiss nicht grösser als in den kühleren.

Immerhin gibt es eine theoretisch wohl unanfechtbare Möglichkeit, an die Hooker nicht gedacht hat, die positiv thermotropischen Krümmungen aus dem positiven Hydrotropismus der Wurzeln herzuleiten. Wie af Klercker hervorgehoben hat, findet in dem einseitig erwärmten Zink-

kasten eine konstant gerichtete Luftströmung statt, und zwar dürfte die Luft wenigstens am Boden des Gefässes von den kühleren Teilen des Kastens den wärmeren zuströmen. Dabei erwärmt sie sich fortwährend und kann also nie volle Dampfsättigung erreichen. Unter solchen Umständen ist zu erwarten, dass die Wurzeln an der direkt vom Luftstrome betroffenen Seite mehr Wasser verlieren werden als an der gegenüberliegenden. Es sind mithin die Bedingungen für eine von der abgekühlten Wand weggerichtete hydrotropische Krümmung gegeben. Unten soll jedoch gezeigt werden, dass die als positiv thermotropisch bezeichneten Reaktionen auch nicht von diesem theoretisch denkbaren Reiz verursacht sind.

Die Luftströmungen [1]). Um die Rolle der Luftströme bei den thermotropischen Experimenten entscheiden zu können, habe ich eine Anzahl von Wurzeln in gewöhnlicher Weise thermotropisch gereizt, nur mit dem Unterschied, dass die horizontal gerichteten Luftströmungen auf ein Minimum reduziert waren. Dies wurde ganz einfach dadurch erzielt, dass, wie die schematische Figur 5 zeigt, ein Stück Weissblech *BB'* (meist wurde ein rechteckiges Stück, 8 cm breit und 15 cm hoch, benutzt) nahe an der kalten Wand *KK'* in vertikaler Stellung in dem Sägemehl eingebettet war.

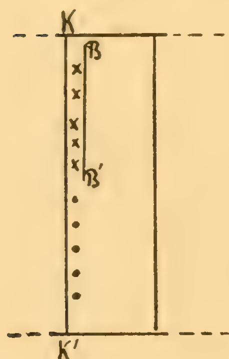


Fig. 5.

Ein Teil der Wurzeln (mit × bezeichnet) war zwischen der kalten Wand und dem Bleche eingebracht. Andere (in der Figur mit Punkten bezeichnet) dienten zum Vergleich und waren in gleichem Abstand von *KK'*, aber seitwärts von *BB'* angebracht. Es soll natürlich nicht behauptet werden, dass die dem Wärmefall parallel gerichteten Luftströme zwischen *KK'* und *BB'* durch diese Anordnung absolut vollständig hätten verhindert werden können. Jedenfalls aber

[1]) Dass dampfgesättigte Luftströme keine Reizkrümmungen an Keimwurzeln veranlassen, ist schon früher von Sammet (1905) und Hryniewiecki (1908) nachgewiesen worden.

muss ihre Intensität ausserordentlich geschwächt gewesen sein, sodass die Krümmungsreaktion, falls sie durch die Luftströme induziert gewesen wäre, hier bedeutend schwächer hätte ausfallen müssen als bei den Vergleichswurzeln. Wie aus der in der Tabelle 11 gegebenen Zusammenfassung der Versuchsprotokolle hervorgeht, war jedoch von einer solchen Schwächung nichts zu bemerken. Das Mittel der bei verhinderter Luftströmung beobachteten Krümmungswinkel beträgt nämlich + 25° und dasjenige der Vergleichswurzeln + 22°.

Tabelle 11.

T = Temperatur an den Wurzeln, *A* = Abstand zwischen *KK'* und *BB'* in mm, *D* = Versuchsdauer in Stunden, I = Krümmungswinkel der zwischen *KK'* und *BB'* exponierten Wurzeln, II Krümmungswinkel der Vergleichswurzeln. Temperaturfall in sämtlichen Versuchen 6.2° C pro cm.

T	*A*	*D*	I	II
18°	18	7	− 40°, + 30°, + 50°, + 55°	+ 30°, + 30°, + 35°, + 35°
19°	18	6½	+ 15°, + 25°, + 40°, + 45°, + 45°	− 50°, − 5°, + 5°, + 10°, + 30°
19°	18	5	+ 10°, + 20°, + 30°, + 45°	+ 20°, + 40°, + 40°, + 50°
16°	12	4	+ 5°, + 10°, + 15°, + 24°, + 30°	± 0°, + 10°, + 15°, + 30°

Obwohl mir eine bedeutende Beeinflussung der n e g a t i v thermotropischen Reaktion seitens der Luftströmungen von vornherein unwahrscheinlich vorkam, wurden der Sicherheit halber die in der Tabelle 12 zusammengestellten Versuche ausgeführt, bei denen ein Teil der Wurzeln durch zwei vertikal gestellte Weissbleche (je eins zu beiden Seiten der Wurzeln) vor horizontal gerichteten Luftströmen geschützt war.

Tabelle 12.

Temperatur an den Wurzeln 39° C. *A* = gegenseitige Entfernung der beiden Blechstücke in mm. Die fett gedruckten Zahlen stellen Mittelwerte dar. Sonst alles wie in Tabelle 11.

A	*D*	I		II	
15	2	± 0°, — 10°, — 20°, — 50°	**— 36°**	— 35°, — 45°	**— 42°**
12	2	— 25°, — 30°, — 55°		— 45°	
14	1	— 20°, — 20°, — 30°	**— 30°**	— 12°, — 28°, — 28°	**— 27°**
15	1	— 15°, — 30°, — 32°, — 40°, — 50°		— 5°, — 20°, — 20°, — 45°, — 50°	

Das Ergebnis bestätigt die Annahme, dass die negativ thermotropische Reaktion nicht merklich von den schwachen horizontal gerichteten Luftströmungen beeinflusst wird.

Da somit weder Feuchtigkeitsdifferenzen noch Luftströmungen für die thermotropischen Reaktionen der Wurzeln verantwortlich sind, muss ihr Ausbleiben in Agar oder Sägemehlbrei irgendwelchen mehr sekundären Umständen zugeschrieben werden. Wahrscheinlich sagen die genannten Medien den Wurzeln recht wenig zu. Dass die Wurzeln trotzdem darin geotropisch reagieren können, beweist nichts gegen eine solche Annahme. Man denke z. B. nur an die verschiedenartige Beeinflussung der geo- und phototropischen Reaktionen durch »Laboratoriumsluft».

Traumen. Wie schon erwähnt (S. 6), hat Hooker die Vermutung ausgesprochen, dass bei den sogenannten negativ thermotropischen Reaktionen ein traumatotropischer Reiz mitwirke. Er bemerkt ganz kurz, dass »Wortmann often heated the roots above the maximum temperature» (l. c. S. 152); sonst aber vermisst man jede nähere Begründung der von ihm ausgesprochenen Ansicht.

Es soll natürlich nicht geleugnet werden, dass bei den thermotropischen Experimenten von den Wurzeln ein traumatotropischer Reiz aufgenommen werden kann, vorausgesetzt, dass die Experimente bei genügend hohen Tempera-

turen ausgeführt werden [1]). Bei mancher Temperatur, wo die negativ thermotropische Reaktion kräftig ausfällt, ist ein traumatotropischer Reiz jedoch sicher ausgeschlossen. Bekanntlich spricht man nämlich von Traumatotropismus nur dann, wenn eine Abtötung oder wenigstens eine ernste Beschädigung eines Teils der Pflanze vorliegt. Wird aber z. B. eine *Pisum*-Wurzel während einer halben Stunde einer Temperatur von 31° ausgesetzt, so kann offenbar von einer Beschädigung durch die Hitze gar keine Rede sein (vgl. Leitch, 1916, S. 38). Und doch führen die *Pisum*-Wurzeln bei dieser Temperatur bereits in weniger als 30 Minuten eine deutliche negativ thermotropische Krümmung aus.

Dazu kommt noch, dass die Latenzzeit der traumatotropischen Reaktion länger ist als diejenige der thermotropischen, weshalb die bei den thermotropischen Experimenten zuerst auftretende negative Krümmung also schon deswegen nicht-traumatotropischer Natur sein muss [2]).

Geleitete Wärme und Wärmestrahlung. Da, wie wir gesehen haben, weder Feuchtigkeitsunterschiede noch Luftströmungen oder einseitige Traumen als Ursache der als thermotropisch bezeichneten Reaktionen der Wurzeln angesehen werden können, müssen wir den Reizanlass in der einseitigen Einwirkung entweder der geleiteten Wärme oder der Wärmestrahlung oder beider zugleich erblicken, denn andere Reize, die bei der üblichen Versuchsanordnung einseitig auf die

---

[1]) Immerhin muss, da die Temperaturdifferenz der gegenüberliegenden Flanken immer sehr klein ist (in allen meinen Experimenten nur Bruchteile eines Celciusgrades), der an der wärmeren Seite aufgenommene traumatotropische Reiz nur äusserst wenig grösser sein als der an der anderen Seite wirkende Reiz.

[2]) An Keimwurzeln von *Pisum* ist, wie bereits erwähnt, die negativ thermotropische Krümmung bei hohen Temperaturen oft 15—20 Minuten nach Beginn der Reizung deutlich sichtbar; nach Wiesner (1884, S. 229 u. 231) soll die traumatotropische Krümmung an demselben Objekt in Wasser nach 45—55 Minuten und in feuchter Luft erst nach 60—135 Minuten einsetzen. An *Zea mais*, die in den Versuchen Wortmanns (1885, p. 228) in 40 Minuten bereits kräftig thermotropisch gekrümmt war, beobachtete Wiesner (l. c.) die ersten Anfänge der traumatotropischen Reaktion nach 30—135 Minuten.

Wurzeln einwirken könnten, sind, soviel ich sehen kann, nicht zu entdecken.

Da wir ferner im Auschluss an die Ausführungen auf S. 10 f. eine direkte Reizwirkung der Strahlung (ohne vorangehende Umwandlung der strahlenden Energie in Wärmeenergie) in dem vorliegenden Falle als sehr unwahrscheinlich bezeichnen müssen, werden wir also folgerichtig dazu geführt die einseitige Wärmewirkung oder anders ausgedrückt die an den Wurzeln herrschende Temperaturdifferenz als den Reizanlass zu betrachten, wobei es gleichgiltig bleibt, inwieweit diese Temperaturdifferenz durch Leitung oder Strahlung zustandekommt.

Die fraglichen Reaktionen, sowohl positive wie negative, können also mit vollem Recht als thermotropisch angesprochen werden.

3. *Allgemeiner Verlauf der Krümmungsreaktion bei verschiedenen Temperaturen.*

Pisum sativum. — Da das thermotropische Verhalten der Keimwurzel von *Pisum sativum* schon früher dank den Untersuchungen Wortmanns (1885), af Klerckers (1891) und Miss Eckersons (1914) in seinen Hauptzügen bekannt war, enthält die folgende Darstellung kaum irgendwelche ganz neuen Ergebnisse. Doch scheint sie mir als komplettierendes Tatsachenmaterial der Veröffentlichung wert, umsomehr als Wortmann und Miss Eckerson gar keine quantitativen Angaben über die Reaktionsgrösse gegeben haben und die diesbezüglichen Angaben af Klerckers sich auf ein Material von im ganzen nur 28 Wurzeln stützen. (Meine Tabelle 13 bezieht sich auf 272 und die Zusammenstellung auf S. 59 auf 85 Wurzeln.)

Das Resultat 16 verschiedener Versuche, die das Verhalten der *Pisum*-Wurzeln zwischen 8 und 39° C beleuchten, findet sich in den Tabellen 13 und 14 zusammengestellt. Die meisten hier mitgeteilten Versuche umfassen je drei

verschiedene Temperaturen, und zwar entweder 8, 19 und 32° oder 25, 32 und 39°. Der Temperaturfall betrug in sämtlichen Experimenten 6.2 bis 6.5° pro cm.

Tabelle 13 enthält das gesamte hierhergehörige Primärmaterial. In jeder Kolumne sind zuerst die einzelnen Krümmungswinkel angegeben und zuletzt mit Fettdruck das zugehörige Mittel. Ein Blick auf diese Tabelle lässt sofort die grossen auf S. 47 erwähnten quantitativen Verschiedenheiten zwischen den einzelnen Versuchen erkennen. Man vergleiche z. B. nur die bei halbstündiger Exposition bei 32° erhaltenen Resultate untereinander!

Tabelle 14 enthält das zu jeder benutzten Temperatur und Reizdauer gehörende Gesamtmittel.

Sehen wir jetzt zu, welches Bild sich von dem Verhalten der *Pisum*-Wurzeln bei verschiedenen Temperaturen aus meinen Experimenten ergibt.

Bei allen Temperaturen tritt zuerst eine negative Krümmung ein, deren Intensität freilich je nach der betreffenden Temperatur in hohem Masse wechselt.

Bei 8 und 19° C ist die negative Krümmung immer ganz schwach, wenn sie überhaupt deutlich zutage tritt. Noch eine Stunde nach Beginn der Reizung ist etwa die halbe Anzahl der Wurzeln ungekrümmt. Diese anfängliche negative Krümmung bei niedrigen Temperaturen ist von allen früheren Untersuchern bei *Pisum* übersehen worden. Doch ist sie in meinen Versuchen zu oft aufgetreten, als dass ich sie als eine zufällige Nutation auffassen könnte.

Bei höheren Temperaturen (25—39°) dagegen ist die negative Krümmung eine recht energische: bereits in einer halben Stunde wird ein Krümmungsmittel von —11°, —13° bezw. —20° erreicht.

Oberhalb 39° habe ich die Reaktion nicht genau verfolgt, weil hier sehr leicht ein frühzeitiges Absterben der Wurzeln eintritt. Immerhin habe ich mich durch einzelne Versuche davon überzeugt, dass die negative Reaktion auch bei den höchsten Temperaturen zustandekommt, wo die *Pisum*-

Tabelle 13.

Nr.	Temperatur / Reizdauer	8°	19°	25°	32°	39°
1	½ St.	± 0°, ± 0°, ± 0°, — 4°, — 5°. — **2°**	± 0°, ± 0°, ± 0°, — 8°. — **2°**		± 0°, — 10°, — 10°, — 12°, — 16°. — **10°**.	
2	» »	± 0°, ± 0°, ± 0°, — 5°, — 15°. — **4°**	± 0°, ± 0°, ± 0°, — 10°. — **2°**		± 0°, — 8°, — 20°, — 20°, — 30°. — **16°**	
3	» »			± 0°, ± 0°, ± 0°, ± 0°, ± 0°, ± 0°, — 3°, — 6°, — 12°. — **2°**.	± 0°, — 5°, — 8°, — 10°, — 10°, — 10°, — 10°, — 15°, — 15°. — **9°**	
4	» »			— 12°, — 15°, — 20°, — 24°, — 30°. — **20°**	— 15°, — 15, — 30°, — 30°. — **23°**	— 12°, — 30°, — 40°, — 40°, — 45°. — **33°**
5	» »			— 20°, — 20°, — 20°, — 22°. — **20°**.	— 15°, — 25, — 25°, — 30°. — **24°**,	— 4°, — 15°, — 20°, — 20°. — **15°**
6	» »				± 0°, — 4°, — 5°, — 8°, — 10°, — 10°. — **6°**	— 4°, — 5°, — 12°, — 14°, — 20°. — **11°**
7	1 St.	± 0°, ± 0°, ± 0°, — 10°, — 10°, — 20°, — 20°. — **9°**	± 0°, ± 0°, ± 0°, ± 0°, — 5°, — 10°, — 20° — **5°**		± 0°, — 5°, — 10°, — 20°, — 20°, — 22°, — 25°, — 25°, — 30°. — **17°**	
8	» »	± 0°, — 5°, — 5°. — **3°**	± 0°, ± 0°, — 4°, — 8°. — **3°**		— 10°, — 20°, — 30°. — **20°**	
9	» »			± 0°, — 5°, — 5°, — 8°, — 10°, — 15°, — 15°. — **8°**	— 10°, — 10°, — 10°, — 20°, — 20°, — 20°. — **15°**	— 12°, — 20°, — 20°, — 25°, — 40°, — 50°. — **28°**
10	» »				— 5°, — 10°, — 10°, — 20°, — 20°, — 35°, — 40°. — **20°**	± 0°, — 10°, — 10°, — 15°, — 25°, — 35°. — **16°**

11 [1])	2 St.	± 0°, ± 0°, — 5°, — 5°, — 10°, — 12°, — 15°. **— 7°**	± 0°, ± 0°, ± 0°, ± 0°, ± 0°, — 5°, — 5°. **— 1°**		+ 5°, ± 0°, ± 0°, — 5°, — 5°, — 10°. **— 3°**	
12 [2])	» »			+ 10°, ± 0°, ± 0°, ± 0°, ± 0°, ± 0°, — 10°, — 10°, — 40°. **— 5°**	± 0°, — 4°, — 10°, — 12°, — 20°, — 22°, — 25°, —35°. **— 16°**	± 0°, — 5°, — 8°, — 20°, — 25°, — 25°, — 45°, — 50°. **— 22°**
13 [3])	4 St.	+ 10°, + 10°, ± 0°, ± 0°, ± 0°, — 20°, — 20°. **— 3°**	+ 60°, + 50°, + 50°, + 40°, + 30°, + 10°, + 10°, ± 0°. **+ 31°**		± 0°, — 15°, — 20°, — 20°, — 25°, — 30°, — 40°. **— 21°**	
14	» »			— 10°, ± 0°, ± 0°, + 40°. **+ 7°**.	— 10°, — 15°, — 20°, — 20°. **— 16°**	— 25°, — 30°, — 40°, — 45°, — 50°. **— 38°**
15 [4])	6 St.	+ 5°, + 30°, + 40°, + 45°, + 50°, + 50°. **+ 37°**	— 30°, ± 0°, + 20°, + 50°, + 60°, + 60°. **+ 27°**		+ 20°, ± 0°, ± 0°, ± 0° — 30°. **— 2°**	
16 [5])	» »			— 10°, ± 0°, ± 0°, ± 0°, ± 0°, ± 0°, + 5°, + 5° + 10°. **+ 1°**	± 0°, ± 0°, ± 0°, — 5°, — 5°, — 5°, — 5°, — 10°. **— 4°**	— 20° (ausserdem 9 Wurzeln, die von der Hitze getötet sind)

[1]) An mehreren bei 19 und 32° exponierten Wurzeln war ein etwas höher gelegener Teil stärker negativ gekrümmt.

[2]) An mehreren bei 25° und an zwei bei 32° exponierten Wurzeln war ein etwas höher gelegener Teil stärker negativ gekrümmt.

[3]) An mehreren bei 8° exponierten Wurzeln, deren Spitze vertikal stand, war eine etwas höher gelegene, schwach negative Krümmung zu beobachten.

[4]) An mehreren bei 32° exponierten Wurzeln war eine höher gelegene negative Krümmung zu beobachten.

[5]) An mehreren bei 25° und 32° exponierten Wurzeln war ein etwas höher gelegener Teil stärker negativ gekrümmt.

Tabelle 14.

Reiz-dauer		Temperatur 8°	19°	25°	32°	39°
½ St.	Anzahl . . .	10	8	18	33	14
	Krümmung .	— 3°	— 2°	— 11°	— 13°	— 20°
1 St.	Anzahl . . .	10	11	7	25	12
	Krümmung .	— 7°	— 4°	— 8°	— 18°	— 22°
2 St.	Anzahl . . .	7	7	9	14	8
	Krümmung .	— 7°	— 1°	— 5°	— 10°	— 22°
4 St.	Anzahl . . .	7	8	4	11	5
	Krümmung .	— 3°	+ 31°	+ 7°	— 20°	— 38°
6 St.	Anzahl . . .	6	6	9	13	10
	Krümmung .	+ 37°	+ 27°	+ 1°	— 3°	(9 Wurzeln getötet)

Wurzeln ihr Leben überhaupt — wenn auch nur kurze Zeit — fristen können [1]). So z. B. befanden sich unter den in Tabelle 16 (S. 67) angeführten Wurzeln mehrere, die nach zwei- bis vierstündiger Exposition bei 43° C und dem Temperaturfall 2.1° pro cm schon teilweise abgetötet waren (Wurzeln halbdurchsichtig, kaum turgeszent), deren Spitze aber trotzdem ganz deutlich negativ thermotropisch gekrümmt war.

Ein Optimum der negativ thermotropischen Reaktion lässt sich auf Grund meiner Versuche nicht angeben. Überhaupt fällt die Krümmung bei 39° kräftiger aus als bei 32° und bei dieser Temperatur kräftiger als bei 25°. Wenn wir dazu noch berücksichtigen, dass die allgemeinen Reaktions-

[1]) Offenbar unrichtig ist dagegen die Behauptung Wortmanns (1885), dass die Wurzeln auch oberhalb des Maximums thermotropisch reagieren können. Dass die Temperaturangaben Wortmanns ziemlich unzuverlässig sind, geht übrigens aus seiner Angabe hervor, dass einige *Pisum*-Wurzeln nach mehr als 4-stündigem Verweilen bei 50° noch »ganz turgescent» waren und »ein völlig normales Aussehen» boten (l. c. p. 225). (Vgl. hiermit Leitch, 1916, S. 38: »At or below 45°, death seemed to be instantaneous»).

bedingungen (durch die Wachstumsgeschwindigkeit der Wurzeln gemessen) bei höheren Temperaturen immer schlechter werden, so werden wir zu dem Schlusse geführt, dass der thermotropische Reiz mit steigender Temperatur stetig zunimmt. Dieselbe Auffassung hat bereits af Klercker auf Grund seiner Beobachtungen ausgesprochen.

Um ein zuverlässigeres Bild von dem zeitlichen Verlauf der negativen Krümmung zu erhalten, als es durch Vergleich der verschiedenen in Tabelle 14 zusammengestellten Krümmungsmittel möglich wäre (vgl. S. 47), habe ich einige Experimente ausgeführt, in denen die eine Hälfte der gleichzeitig in den Reaktionskasten eingesetzten Wurzeln früher, die andere erst später aus demselben herausgenommen wurde. Die Temperatur an den Wurzeln betrug in sämtlichen Versuchen 39° und der Temperaturfall 6.2° pro cm. Die beobachteten Krümmungswinkel sind unten zusammengestellt:

Versuche 1—3. Versuchsdauer a) 15 Minuten und b) 30 Minuten.

a) ± 0°, ± 0°, ± 0°, ± 0°, — 5°, — 8°, — 10°, — 10°, — 10°, — 20°, — 20°, — 30°. Mittel: — *9*°.

b) ± 0°, — 15°, — 15°, — 20°, — 20°, — 30°, — 30°, — 30°, — 30°, — 30°. Mittel: — *22*°.

Versuche 4—7. Versuchsdauer a) 30 Minuten und b) 1 Stunde.

a) — 4°, — 10°, — 10°, — 14°, — 15°, — 17°, — 18°, — 18°, — 20°, — 20°, — 20°, — 20°, — 20°, — 30°, — 30°, — 30°, — 30°, — 30°, — 33°, — 35°. Mittel: — *21*°.

b) ± 0°, — 3°, — 10°, — 15°, — 20°, — 20°, — 22°, — 25°, — 25°, — 30°, — 30°, — 30°, — 32°, — 40°, — 40°, — 40°, — 40°, — 45°, — 45°. Mittel: — *27*°.

Versuche 8—10. Versuchsdauer a) 1 Stunde und b) 2 Stunden.

a) — 20°, — 20°, — 22°, — 25°, — 30°, — 32°, — 40°, — 40°, — 45°, — 50°, — 50°. Mittel: — *34*°.

b) — 15°, — 18°, — 20°, — 20°, — 20°, — 25°, — 25°, — 30°, — 30°, — 32°, — 40°, — 45°, — 50°. Mittel: — *28*°.

Aus obiger Zusammenstellung geht u. a. hervor, 1. dass eine deutliche Krümmung oft schon nach Verlauf einer Viertelstunde bemerkbar ist, 2. dass die Krümmung während der ersten halben Stunde bedeutend schneller fortschreitet als während der zweiten, und 3. dass die Krümmung im Laufe der zweiten Stunde nicht länger zunimmt, sondern eher ein wenig zurückgeht.

Noch viel auffälliger ist der Rückgang der negativen Krümmung an den bei 25 oder 32° exponierten Wurzeln. Man bemerkt hier oft, dass die Gegenkrümmung an der äussersten Spitze eingesetzt hat, ohne dass die zuerst eingetretene Krümmung in den höher gelegenen Teilen vollständig ausgeglichen ist. Bei 25° kommt es mitunter sogar zu einer schwachen positiven Krümmung der Spitze. Ein Ausgleich der negativ thermotropischen Krümmung ist früher schon von af Klercker angegeben worden; Wortmann hat ihn nur gerade an der »Grenztemperatur» beobachtet. Als Ursachen der fraglichen Erscheinung kämen in Betracht: 1. der positive Geotropismus, 2. der Autotropismus, 3. die veränderte Temperatur an der seitwärts verschobenen Wurzelspitze und 4. eine Stimmungsänderung. Ich habe jedoch nicht untersucht, inwieweit diese verschiedenen Faktoren in jedem einzelnen Fall wirksam sind.

Von der Form der ersten negativ thermotropischen Krümmung der *Pisum*-Wurzel gibt Fig. 6 eine Vorstellung. Die abgebildeten Wurzeln waren 30 Minuten teils bei 32 (*A*) und teils bei 39° (*B*) einem Temperaturfall von 6.2° C pro cm ausgesetzt und dann wie gewöhnlich mit Hilfe eines dreimal vergrössernden Mikroskops und eines Zeichenapparates gezeichnet. (Bei der Reproduktion wurde das Bild wieder dreimal verkleinert.) Die Abbildung lässt erkennen, dass die Form der thermotropischen Krümmung ungefähr mit den Anfangsstadien geotropisch gekrümmter Wurzeln übereinstimmt, indem in beiden Fällen die stärkste Krümmung wenige mm oberhalb der Spitze auftritt.

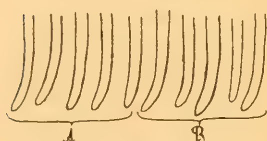


Fig. 6.

Wenden wir uns jetzt den positiv thermotropischen Reaktionen zu.

Oben wurde bereits erwähnt, dass an Wurzeln, die bei 25 oder 32° exponiert werden, die äusserste Spitze der negativ gekrümmten Wurzeln sich oft bei längerer Versuchsdauer durch eine entgegengesetzt gerichtete Krümmung mehr oder weniger lotrecht stellt. Zwischen 8 und 19° dagegen kommt es in entsprechender Weise zu einer deutlichen positiv thermotropischen Krümmung.

Als obere Temperaturgrenze der positiv thermotropischen Reaktion bei *Pisum* gibt Wortmann 32—33° an. Nach der graphischen Darstellung af Klerckers zu schliessen wäre sie dagegen jedenfalls nicht oberhalb 26° gelegen. Miss Eckerson schliesslich findet, dass die *Pisum*-Wurzeln zwischen 17 und 29° gar nicht reagieren und dass die positiven Krümmungen erst unterhalb 17° anfangen. Nach meinen Erfahrungen müsste die Grenztemperatur zwischen 19 und 25° verlegt werden: bei jener Temperatur ist die positive Reaktion noch sehr ausgeprägt, bei dieser tritt sie nur an ganz vereinzelten Wurzeln in unzweideutiger Form auf. (Ganz schwache positiv gerichtete Krümmungen können eventuell als geotropische Überkrümmungen gedeutet werden.)

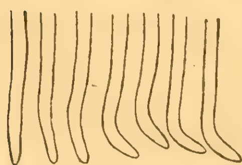
Eine untere Temperaturgrenze der positiv thermotropischen Reaktion lässt sich auf Grund der bis jetzt vorliegenden Versuche nicht angeben. Vermutlich fällt sie mit dem Temperaturminimum des Wachstums zusammen. Sowohl aus Wortmanns wie aus meinen Versuchen scheint hervorzugehen, dass die positiven Krümmungen bei den niedrigsten Temperaturen später auftreten als bei etwas höheren.

Auch sind meine Versuche in zu kleinem Massstabe ausgeführt, um eine Bestimmung des Temperaturoptimums der positiven Krümmung zuzulassen.

Während bei der negativ thermotropischen Reaktion grössere Krümmungswinkel als —45° nur ausnahmsweise beobachtet wurden, sind unter den positiv reagierenden Wurzeln Ablenkungswinkel von +50 bis +60° nicht ganz

selten [1]). Doch sind, wie auch die früheren Untersucher bemerkt haben, die individuellen Abweichungen beim positiven Thermotropismus überhaupt grösser als beim negativen.

Von dem Aussehen der positiv gekrümmten Wurzeln sowie von der Grösse der individuellen Abweichungen gibt Fig. 7 ein Beispiel. Die betreffenden Wurzeln sind gleichzeitig während 4 Stunden der Temperatur 19° und dem Temperaturfalle 6.2° C pro cm ausgesetzt gewesen.


Fig. 7.

Schliesslich sind noch einige besonders lange Zeit (16—24 Stunden) dauernde Versuche zu erwähnen, die geeignet sind eine Vorstellung von der (wenigstens potentiellen) ökologischen Bedeutung des Thermotropismus zu geben.

Das Resultat eines solchen 24 Stunden dauernden Versuches ist in Fig. 8. dargestellt. Die Wurzeln waren in drei Reihen (*A*, *B* und *C*) ausgesetzt, deren Entfernung von der kalten Wand (*KK'*) je 7, 28 und 38 mm betrug. (In Fig. 8 sind die zu derselben Reihe gehörigen Wurzeln übereinander in natürlicher Grösse derart wiedergegeben, dass die gegenseitigen Abstände der Reihen dieselben sind wie beim Versuch.) In der Reihe *A* herrschte die Temperatur 16°, in *B* 30° und in *C* 35°. (Der Temperaturfall betrug 6.2° pro cm.)

Ein Blick auf die Figur lässt sofort den auffallend zweckmässigen Charakter der ausgeführten Reizkrümmungen erkennen. Die ursprünglich bei 16° wachsenden Wurzeln haben sich der wärmeren Seite zugekehrt, und wir sehen, dass ihre Spitzen in 24 Stunden das Gebiet der optimalen Temperatur fast erreicht haben. (Das Optimum des Wachstums wurde von Miss Leitch (1916) für die Keimwurzel von *Pisum sativum* zu 29° C bestimmt.) Die bei 35° eingebrachten Wurzeln haben sich sofort jäh gegen die kühlere Seite

[1]) Dass auch höhere Mittelwerte vorkommen können als die in der Tabelle 13 aufgenommenen, zeigt folgendes Beispiel: Fünf *Pisum*-Wurzeln waren 7 Stunden lang dem Temperaturfall 6,2° pro cm und der Temperatur 16° C ausgesetzt. Es wurden folgende Krümmungswinkel erhalten: + 30°, + 35°, + 50°, + 60°, + 70°. Mittel: + 49°.

gekrümmt; aber je näher sie den optimal temperierten Zonen gekommen sind, desto mehr hat sich ihre Wachstumsrichtung der Lotlinie genähert. Die bei 30° placierten Wurzeln haben zwar anfänglich negativ thermotropisch reagiert, die zuerst eingetretene Krümmung ist aber später fast ausgeglichen worden, und die Wurzeln sind dann einer schwach geschlängelten Bahn folgend nach abwärts gewachsen, ohne sich je von der optimalen Temperatur merklich zu entfernen.

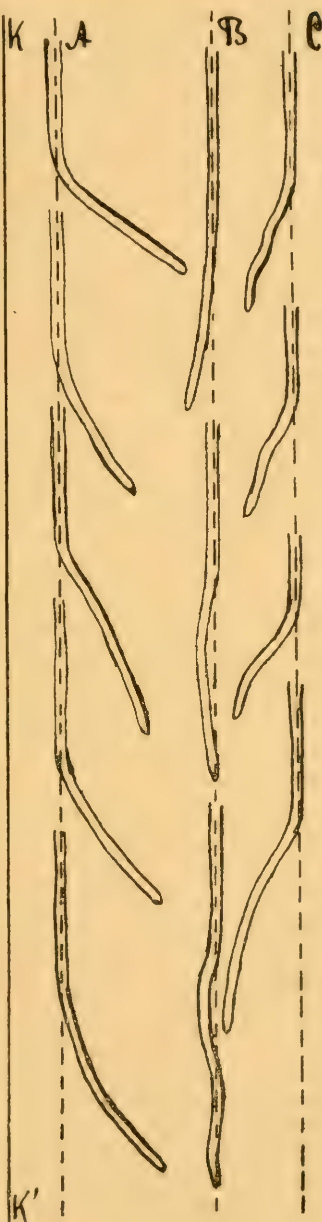


Fig. 8.

Helianthus annuus. — Nach den bis jetzt vorliegenden Untersuchungen zu schliessen würden unter den Keimwurzeln zwei deutlich verschiedene Kategorien zu unterscheiden sein. Die zu der ersten Gruppe gehörenden Arten — *Pisum, Zea, Ervum, Raphanus* und *Sinapis* sowie die Nebenwurzeln von *Phaseolus* — reagieren bei niedrigen Temperaturen positiv und bei hohen Temperaturen ne-

gativ thermotropisch. Die Wurzeln der zweiten Kategorie — *Helianthus, Faba* und die Hauptwurzel von *Phaseolus* — reagieren dagegen nur negativ.

Die auffallende Zweckmässigkeit der soeben beschriebenen Reaktionen der *Pisum*-Wurzeln, die wahrscheinlich für alle Wurzeln der ersten Gruppe kennzeichnend ist, weckte bei mir den Gedanken zu erforschen, ob nicht ein ähnlicher Charakter auch bei den Wurzeln der zweiten Kategorie nachzuweisen sei. Es schien nämlich nicht ausgeschlossen, dass bei Verwendung von genügend langen Expositionszeiten ein positiver Thermotropismus auch bei ihnen entdeckt werden könnte.

Als Vertreter der zweiten Kategorie wurde *Helianthus annuus* gewählt. Die mit diesem Objekt ausgeführten Versuche sind unten zusammengestellt:

Tabelle 15.

Nr.	Temp. Fall (° C pro cm)	Temp.	Dauer (Stunden)	Reaktion
1	4.2	16°	14	1 +, 2 —
2	4.7	14°	15	1 +, 3 —
3	4.7	15°	6	3 —
4	5.4	10°	8	1 +, 5 —
5	5.4	10°	9	3 +, 1 —
6	4.7	14°	15	1 +, 4 —
7	5.4	10°	10	1 +, 3 —
8	4.7	14°	14	4 —

Einzelne in positiver Richtung gekrümmte Wurzeln kommen also vor. Ihre Zahl ist jedoch im Vergleich mit den unter den nämlichen Verhältnissen negativ gekrümmten Wurzeln entschieden zu gering, als dass man sie als Stütze für das Vorkommen eines positiven Thermotropismus bei den *Helianthus*-Wurzeln anführen könnte. (Unter den in der Tabelle als positiv gekrümmt angeführten Wurzeln befinden

sich mehrere, die sichtlich krankhaft waren. Oft waren sie auch nicht streng positiv, sondern zugleich mehr oder weniger seitwärts gebogen.)

4. *Der Thermotropismus und das Reizmengengesetz.*

Man wird a priori vermuten dürfen, dass sich die Grösse des thermotropischen Reizes etwa als ein Produkt *a. d. t* darstellen lassen wird, wo *a* ein Funktion der am Objekte herrschenden Temperatur ist, *d* die Grösse des Temperaturfalles, d. h. die auf die Längeneinheit fallende Temperaturdifferenz angibt und *t* die Reizdauer darstellt [1]). (Ganz entsprechend wird bekanntlich die phototropische Reizmenge von dem Produkt *q. i. t* dargestellt, wo *q* ein von der Qualität des Lichtes abhängiger Faktor ist, *i* die Intensität und *t* die Dauer der Belichtung angibt.)

Eine experimentelle Prüfung dieser Vermutung sowie eine Untersuchung über die Abhängigkeit des Faktors *a* von der Temperatur hätte gewiss ein grosses Interesse beanspruchen können. Dabei wäre es, um die Schwellenwerte des Reizes bestimmen zu können, nötig gewesen den Reiz nur eine kurze, genau abgemessene Zeit einwirken zu lassen und die durch ihn ausgelöste, nach Ablauf der Reaktionszeit als Nachwirkung auftretende Reaktionskrümmung zu beobachten.

Leider stiess ich jedoch, wie aus folgender Darstellung hervorgeht, auf unüberwindliche Schwierigkeiten, als ich das angedeutete Arbeitsprogramm verwirklichen wollte.

Was erstens die negativ thermotropische Reaktion betrifft, konnte ich hier eine deutliche Nachwirkung gar nicht nachweisen. Die betreffenden Experimente wurden folgendermassen ausgeführt:

Die *Pisum*-Wurzeln wurden 15 Minuten bei 39° einem Temperaturfall von 6.°2 C pro cm ausgesetzt, in welcher

---

[1]) Ein anderer Ausdruck wird von Porodko (1912, S. 311) für den Schwellenwert der von ihm studierten »negativ thermotropen» Reaktion hergeleitet.

Zeit die meisten Wurzeln sich ganz schwach negativ thermotropisch krümmten. Die Wurzeln wurden dann aufgenommen, momentan in Leitungswasser von Zimmertemperatur eingetaucht und schliesslich in feuchter Luft entweder auf einem Klinostaten (1 Umdrehung in 30 Minuten) oder in natürlicher Stellung in einer feuchten Kammer befestigt. Hier wurden sie in Intervallen von 30—45 Minuten beobachtet und die nach Augenmass geschätzten Krümmungswinkel jedesmal notiert. In dieser Weise wurden sechs verschiedene Versuche mit insgesamt 35 Wurzeln ausgeführt. Eine deutliche Fortsetzung des eben begonnenen Krümmungsprozesses war aber, wie gesagt, nie zu bemerken.

Anders betreffs der positiv thermotropischen Krümmungen. Wie aus den im Anhang mitgeteilten Versuchsprotokollen hervorgeht, ist das Auftreten positiver Krümmungen als Nachwirkung oft ganz unleugbar. Eine sichere Ermittlung bestimmter Schwellenwerte scheint nichtsdestoweniger fast unmöglich, teils wegen der überaus grossen Verschiedenheiten im Verhalten gleich behandelter Wurzeln [1]), teils auch darum, weil s c h w a c h e positiv gerichtete Krümmungen ebensogut als geotropische Überkrümmungen, veranlasst durch die anfängliche negativ thermotropische Krümmung, wie als wirkliche positiv thermotropische Krümmungen gedeutet werden können.

Obwohl ich wegen der oben auseinandergesetzten Verhältnisse auf eine experimentelle Prüfung des auf S. 65 vermutungsweise aufgestellten Ausdruckes für den Schwellenwert des thermotropischen Reizes verzichten musste, schien es doch angezeigt wenigstens einige orientierende Versuche über die Grösse des zur Erzielung eben sichtbarer thermotropischer Krümmungen erforderlichen Temperaturfalles auszuführen. Hierüber war nämlich bisher nichts bekannt, da alle früheren Untersucher mit ungefähr gleich grossem Temperaturfall — etwa 4—8° C pro cm — gearbeitet haben.

---

[1]) Die auffallend schlechten Reaktionen der Vergleichswurzeln in den Versuchen 9, 10 und 12 legen die Vermutung nahe, dass die Qualität der verwendeten Wurzeln nicht immer befriedigend war.

Zuerst experimentierte ich bei 36, 39 und 43° mit dem Temperaturfall 2.1° pro cm. Die Ergebnisse finden sich in Tabelle 16 zusammengestellt. Die in Klammern angegebenen Krümmungswinkel beziehen sich auf Wurzeln, die von der Hitze teilweise abgetötet waren. Die fett gedruckten Zahlen stellen Mittelwerte dar.

Tabelle 16.

Versuchsdauer	Temperatur		
	36°	39°	43°
½ St.	±0°, ±0°, ±0°, +5°, +5°. **+2°**	±0°, ± 0°, ±0°, ±0°, −8°. **−2°**.	±0°, ±0°, −5°, −10°, −10°, −20°. **−7°**
1 »	±0°, ±0°, ±0°, ±0°, ±0°, −10°. **−2°**	±0°, −10°, −10°, −10°, −12°, −15°. **−11°**	±0°, ±0°, ± 0°, ±0, −5°, −10°, −15°. **−5°**
1 »	±0°, ±0°, ±0°, ±0°. **±0°**.	±0°, −4°, −4°, **−3°**	−5°, −5°, −10°. **−7°**
2 »	—	±0°, −7°, −10°. **−6°**	[±0°], [−10°], [−12°].
4 »	±0°, −10°, −10°, −10°. **−7°**	±0°, −5°, −10°, −15°, −20°, −25°. **−12°**	—[1])

Die negativ thermotropische Reaktion ist mithin auch bei dem Temperaturfall 2.1° pro cm ganz unverkennbar, obwohl die Krümmungen im allgemeinen schwächer sind als diejenigen, welche bei einem etwa dreimal grösseren Temperaturfall auftreten.

Dann wurden in 4 verschiedenen Versuchen im ganzen 38 Wurzeln bei einer Temperatur von 36—41° dem Temperaturfall 1.0° pro cm ausgesetzt. Die Versuchsdauer betrug 1—2 Stunden. Die erhaltenen Mittelwerte waren: — 1°, + 2°, — 2° und — 3°. Bei diesem Temperaturfall

[1]) Fast alle Wurzeln tot, aber bei den meisten eine negativ thermotropische Krümmung bemerkbar.

war eine deutliche negativ thermotropische Reaktion also nicht mehr zu bemerken.

Von der Abhängigkeit der positiv thermotropischen Reaktion von der Grösse des Temperaturfalles gibt Tabelle 17 eine ungefähre Vorstellung. Man findet, dass die Reaktion bei einem Temperaturfall von 2.0° pro cm noch deutlich ist, bei 1.4° pro cm aber schon zweifelhaft wird.

Tabelle 17.

Temp.-Fall (° C pro cm)	Versuchs-dauer (Stunden)	Temp.	Reaktion.
2.6	6	16°	± 0°, ± 0°, ± 0°, ± 0°, + 10°, + 10°, + 15°, + 20°, + 20°. + 8°
2 6	6	16°	— 5°, — 5°, ± 0°, ± 0°, ± 0°, + 5°, + 5°, + 30°, + 4°
2.6	17	16°	± 0°, + 10°. + 20°, + 20°, + 40°. + 19°
2.0	9	11°	± 0°, ± 0°, ± 0°, + 5°, + 10°, + 12°, + 15°, + 30°, + 38°. + 12°
		13°	— 5°, ± 0°, ± 0°, + 5°, + 10°, + 15°. + 4°
1.4	9	16°	Alle 6 Wurzeln fast gerade.
1.4	14	14°	— 10°, ± 0°, ± 0°, ± 0°, + 5°, + 10°, + 10°. + 2°
		16°	± 0°, ± 0°, + 5°, + 10°, + 10°. + 6°
0.8	9	13°	± 0°; ± 0°, ± 0°, + 12°. + 3°
0.6	9	14°	— 15°, ± 0°, ± 0°, ± 0°, ± 0°, ± 0°, ± 0°, + 10° ± 0°
		16°	Alle 7 Wurzeln fast gerade.

Es verdient noch hervorgehoben zu werden, dass sich alle obigen Angaben über die Grösse des Temperaturfalles auf den durchschnittlichen Temperaturfall i n S ä g e m e h l beziehen. Da jedoch das Wurzelgewebe aller Wahrscheinlichkeit nach ein grösseres Wärmeleitungsvermögen als das lockere Sägemehl besitzt, ist mithin der i n d e m V e r s u c h s o b j e k t s e l b s t herrschende Temperaturfall entsprechend kleiner.

Da die *Pisum*-Wurzeln etwa 1 mm dick sind, dürfte also dem kleinsten noch deutlich wirksamen Temperaturfall — 2° pro cm im Sägemehl — eine Temperaturdifferenz der beiden entgegengesetzten Flanken der Wurzeln von vielleicht weit unter 0.2° entsprechen.

5. *Die Krümmungsmechanik.*

Es ist natürlich nicht statthaft, wie es Miss Eckerson (1914, S. 257) tut, allein aus der Schnelligkeit der thermotropischen Krümmungen zu schliessen, dass dieselben nicht durch Wachstum, sondern durch Turgorveränderungen zustandekämen. Haben wir ja doch u. a. in den Reizkrümmungen der Ranken ein Beispiel von noch viel schneller verlaufenden Krümmungen, die — wie Fitting (1903—04) nachwies — durch Wachstum vollbracht werden, und zwar aller Wahrscheinlichkeit nach sogar ganz ohne eine direkte Mitbeteiligung des Turgors.

Um womöglich einen Aufschluss über die eventuelle Rolle des Turgors bei den thermotropischen Krümmungen zu erhalten, habe ich den beim Abtöten der Wurzeln stattfindenden Rückgang der Krümmung bestimmt. Die in den Tabellen 18—20 zusammengestellten Zahlen beziehen sich auf *Pisum*-Wurzeln, die bei 39° C einem Temperaturfall von 6.2° pro cm während bezw. 20 (Tab. 18), 30 (Tab. 19) und 60 Minuten (Tab. 20) ausgesetzt gewesen waren und dann mit gesättigtem Chloroformwasser abgetötet wurden. φ_1 bedeutet die Krümmung vor und φ_2 diejenige nach dem Abtöten der Wurzeln. $\triangle$ gibt die Abnahme der Krümmung an, ausgedrückt in Prozenten der anfänglichen Krümmung.

Tabelle 18.

φ_1	7°	8°	10°	12°	15°	15°	18°	24°	28°
φ_2	0°	0°	5°	0°	5°	10°	10°	2°	5°
$\triangle$	100	100	50	100	66	33	44	92	82

Durchschnittliche Abnahme { absolut: 11°; prozentuell: 74 % }

Tabelle 19.

φ_1	14°	15°	17°	18°	20°	20°	20°	20°	28°	28°	30°
φ_2	0°	5°	5°	2°	5°	10°	10°	10°	5°	10°	20°
△	100	66	71	88	75	50	50	50	82	64	33

Durchschnittliche Abnahme { absolut: 14°; prozentuell: 67 %

Tabelle 20.

φ_1	10°	20°	20°	20°	22°	22°	25°	25°	30°	30°
φ_2	10°	8°	10°	15°	10°	18°	8°	15°	12°	20°
△	0	66	50	25	54	18	68	40	60	33

30°	32°	33°	35°	40°	40°	45°	50°	50°
25°	25°	20°	15°	25°	28°	30°	35°	40°
17	22	39	57	37	30	33	30	20

Durchschnittliche Abnahme { absolut: 11°; prozentuell: 37 %

Man könnte zunächst geneigt sein aus den in den obigen Tabellen mitgeteilten Tatsachen zu schliessen, dass die Krümmung besonders im Anfang direkt von dem Turgor bewirkt sei [1]) und erst allmählich durch Wachstum fixiert werde, und zwar dermassen, dass 20 Minuten nach Beginn der Reizung etwa ¼, 10 Minuten später etwa ⅓ und noch 30 Minuten später etwa ⅔ der vorhandenen Krümmung bereits fixiert sei. Doch kann diese Auffassung wenigstens nicht in quantitativer Hinsicht als unbedingt zutreffend angesehen werden. Sie nimmt nämlich keine Rücksicht auf

[1]) Es sind hierbei hauptsächlich zwei verschiedene Möglichkeiten denkbar: entweder nimmt bei unveränderter Kohäsion der Zellhäute der Turgor an der konvexwerdenden Seite relativ zu, oder es wird bei gleichbleibendem Turgor die Dehnbarkeit der Zellmembranen an der konvexwerdenden Seite grösser als an der entgegengesetzten Seite. (Eine Kombination beider Vorgänge ist natürlich auch denkbar.)

die Plastizität der Wurzeln, welche bewirkt, dass eine irgendwie verursachte Krümmung der Wurzeln teilweise noch erhalten bleiben kann, nachdem die krümmende Kraft zu wirken aufgehört hat [1]. Es ist daher einerseits möglich, dass die Krümmungen nicht so frühzeitig durch Wachstum fixiert werden, wie man aus den in den Tabellen mitgeteilten Zahlen zunächst schliessen könnte. Aber auch das Gegenteil ist denkbar: Nehmen wir an, dass die Krümmung durch ungleiches Wachstum zweier dicht an der Oberfläche der Wurzel belegenen Schichten bewirkt werde. In einem bestimmten Moment, kurze Zeit nach dem Einsenken der Wurzel in das Chloroformwasser, werden die peripheren Schichten, durch deren ungleiche Länge die Krümmung bedingt ist, schon abgetötet sein, während die inneren Teile der Wurzel noch lebendig sind und infolge ihrer Turgeszenz bewirken, dass die Wurzel sich gerade streckt. Wenn dann auch die inneren Partien getötet sind, kann die zu erwartende Wiederherstellung der ursprünglichen Krümmung durch die Plastizität der Wurzel mehr oder weniger gehemmt werden [2].

Zusammenfassend müssen wir also sagen, dass die vorliegenden Beobachtungen kein quantitatives Urteil über die Mitbeteilung des Turgors an dem Krümmungsvorgang gestatten, dass es aber immerhin als wahrscheinlich angesehen werden muss, dass die erste äusserlich merkbare Veränderung nicht ein eigentlicher (irreversibler) Wachstumsvorgang, sondern eine Änderung der Turgordehnung der Zellmembranen ist.

---

[1] Nach Tröndle (1917) würden Wurzeln bei Plasmolyse in Salzlösungen ihre Elastizität bewahren. Die Arbeit Tröndles ist mir aber erst kurz vor Drucklegung der vorliegenden Abhandlung zu Gesicht gekommen.

[2] Die von mir zunächst nur als theoretisch denkbare Möglichkeit aufgestellte Annahme einer Lokalisierung der Krümmungstendenz in den peripheren Schichten der Wurzel gewinnt einigermassen an Wahrscheinlichkeit durch die von mir mehrfach gemachte Beobachtung, dass *Pisum*-Wurzeln, die während etwa 1 Stunde dem Temperaturfall 6,2° pro cm bei 39° C ausgesetzt gewesen waren, beim Eintauchen in heisses Wasser (70—80°) sich zuerst gerade streckten, um sich im folgenden Augenblick von neuem zu krümmen, wobei die Krümmung allerdings gewöhnlich nicht ihren anfänglichen Wert erreichte.

6. *Versuche, die thermotropischen Reaktionen näher zu analysieren.*

van Tieghems *Anschauung*, wonach die thermotropischen Krümmungen dadurch zustandekämen, dass jeder Teil der Wurzel mit der Geschwindigkeit wächst, wie es die an ihm herrschende Temperatur bedingt, ist schon von Wortmann als den experimentell konstatierten Tatsachen widersprechend nachdrücklich abgelehnt worden.

Gerade für das von mir benutzte Versuchsobjekt, die Keimwurzel von *Pisum sativum*, lässt sich die Unrichtigkeit der Anschauungen van Tieghems absolut bündig dartun dank einer offenbar sehr sorgfältigen Untersuchung von Miss Leitch (1916) über die Wachstumsgeschwindigkeit dieses Objektes bei verschiedenen Temperaturen. Aus einer von Miss Leitch mitgeteilten Tabelle (l. c. S. 45) entnehmen wir folgende Angaben über die relative Wachstumsgeschwindigkeit der *Pisum*-Wurzeln in den beiden ersten halben Stunden (d. h. gerade der Zeit, in der die negativ thermotropischen Krümmungen zustandekommen) nach Überbringen der bei Zimmertemperatur aufgezogenen Keimpflanzen bei den unten angegebenen Temperaturen:

Temperatur	30°.3	35°.0	40°.5	42°.7
Erste halbe Stunde	1.74	1.09	0.54	0.17
Zweite » »	1.68	1.14	0.16	0.0

Nach van Tieghems Theorie müssten also die Wurzeln in diesem ganzen Temperaturgebiet positiv thermotropische Krümmungen ausführen, tatsächlich reagieren sie ja aber negativ thermotropisch.

Zwischen — 2 und + 29° C fand Miss Leitch, dass die Wachstumsgeschwindigkeit mit steigender Temperatur stetig zunimmt. Es besteht somit die Möglichkeit, dass die zwischen 8 und 19° anfangs auftretenden, ganz schwachen, negativ gerichteten Krümmungen der *Pisum*-Wurzeln der-

artige »van Tieghemsche Krümmungen» seien [1]). Die Existenz der für das fragliche Temperaturgebiet besonders charakteristischen positiv thermotropischen Reaktionen an *Pisum* steht dagegen in schroffem Gegensatz zu den Anschauungen van Tieghems.

Die Eckersonsche Theorie. Der von Miss Sophia Eckerson als Arbeitshypothese benutzte Gedanke, dass die thermtropischen Krümmungen auf von der Temperatur bewirkte Permeabilitätsunterschiede zurückzuführen seien, wurde, wie schon auf S. 7 erwähnt, durch die von der Verfasserin ausgeführten Permeabilitätsbestimmungen bei verschiedenen Temperaturen geradezu glänzend bestätigt.

Vor kurzem hat aber Fitting (1917) in sehr überzeugender Weise auseinandergesetzt, dass es durchaus nicht statthaft ist aus den plasmolytisch bestimmten isotonischen Koeffizienten derartige Schlüsse auf die Permeabilität des Plasmas zu ziehen, wie es Lepeschkin und Tröndle und ihnen folgend u. a. auch Miss Eckerson getan haben. Dadurch verlieren mit einem Male die Eckersonschen Angaben über die Variation der Permeabilität mit der Temperatur jeden Wert. Tatsächlich lässt denn auch eine genauere Durchsicht der in Rede stehenden Arbeit eine bedenkliche Reihe innerer Widersprüche und offenbarer Fehler zutage treten.

Unter solchen Umständen schien es mir angezeigt an den von mir auch sonst benutzten *Pisum*-Wurzeln die Variation der Plasmapermeabilität mit der Temperatur nach einer möglichst einwandfreien Methode zu untersuchen.

Am besten geeignet schien mir für den vorliegenden Zweck die Methode, die betreffenden Objekte in reinem Wasser (»Leitfähigkeitswasser») bei verschiedenen Temperaturen kurze Zeit liegen zu lassen und dann die relativen Mengen von exosmierten Elektrolyten durch Messung der elektrischen Leitfähigkeit zu bestimmen. Bekanntlich ist

---

[1]) Dagegen scheinen die entsprechenden Krümmungen z. B. bei *Helianthus* zu energisch zu sein, als dass sie allein dieser van Tieghemschen Wirkung zugeschrieben werden könnten.

diese schnell und bequem ausführbare Methode in letzter Zeit auf pflanzenphysiologischem Gebiete mit gutem Erfolg u. a. von Stiles und Jørgensen (1915—17) sowie von Brooks (1916) angewandt worden.

Meine Versuche wurden folgendermassen ausgeführt: Von den in feuchten Sägespänen kultivierten Wurzeln — es wurden jedesmal 120—150 Stück verwendet — wurde die 10 bis 22 mm lange Spitze mit einem Rasiermesser abgeschnitten. Nur der Spitzenteil wurde in den Versuchen verwendet, da ja die Krümmung von diesem Teil ausgeführt wird; ausserdem war es von Vorteil den mit Wurzelhaaren versehenen Teil nicht mitzuverwenden, da derselbe schwer von anhaftenden Sägespänen zu befreien ist und da ferner in dieser Weise eine Beeinflussung der Resultate durch eine eventuelle Sekretion der Wurzelhaare nicht zu befürchten war. Die Wurzelspitzen wurden für etwa 2 ½ Stunden in ein paarmal gewechseltes Wasser (erst gewöhnliches destilliertes Wasser, dann Leitfähigkeitswasser) gelegt. Inzwischen wurden drei ausgedämpfte und innen mit einer Paraffinschicht ausgekleidete Erlenmeyerkölbchen mit je 30 ccm Leitfähigkeitswasser beschickt und jedes in einen Thermostaten gestellt. Die ausgewässerten Wurzelspitzen wurden in drei gleiche Portionen geteilt und in die Kölbchen eingetragen, die dann wieder in die Thermostaten hineingestellt wurden. In den Thermostaten herrschte gedämpftes Tageslicht. Nach einer Stunde wurden die Wurzeln aufgenommen. Die Leitfähigkeitsbestimmung geschah nach der Kohlrauschschen Methode [1]). Das von mir durch Destillieren mit einem Zinnkühler hergestellte Leitfähigkeitswasser hatte eine Leitfähigkeit, die, in reziproken Ohm ausgedrückt, $1.9 \cdot 10^{-6}$ betrug.

Alle bisher auf ihren Thermotropismus hin untersuchten Wurzeln reagieren bei hohen Temperaturen negativ thermotropisch, und zwar bis zu den höchsten Temperaturen hinauf, die überhaupt von den fraglichen Objekten ertragen werden.

---

[1]) Die Gelegenheit, die Leitfähigkeitsmessungen auszuführen, verdanke ich dem Vorsteher der physikalisch-chemischen Abteilung des chemischen Laboratoriums der Universität, Herrn Prof. Dr. W. Öholm.

Hieraus aber folgt, wenn die Eckersonsche Hypothese stichhält, dass die Permeabilität der Wurzelzellen bei den in Rede stehenden Temperaturen mit steigender Temperatur abnehmen muss, was nach Miss Eckersons Angaben denn auch tatsächlich der Fall ist [1]. Indessen sprechen sowohl allgemeine Erwägungen wie sämtliche bisherige Erfahrungen — die allerdings nicht sehr zahlreich sind (vgl. Delf, 1916, besonders S. 296) — ganz entschieden gegen die Richtigkeit dieses Ergebnisses, dem sogar einige von Miss Eckerson selbst gemachte Beobachtungen widersprechen (vgl. Eckerson, l. c. S. 259). Es ist daher natürlich, dass ich gerade dieses Temperaturgebiet für meine Permeabilitätsuntersuchungen wählte.

Die in der Tabelle 21 angeführten Zahlen geben, mit dem Faktor 10^{-6} multipliziert, die von mir zwischen 28 und 44° gefundenen Leitfähigkeiten an, ausgedrückt in reziproken Ohm.

Tabelle 21.

Temperatur	28°	32°	36°	40°	44°
Leitfähigkeit			30	52	122
		16	24	47	
		19	37	60	
	10	15	31		

Da die Zahl und Länge der Wurzelspitzen nicht in allen vier Versuchen dieselbe war, kann man die in den verschiedenen Experimenten erhaltenen Werte nicht direkt miteinander vergleichen. Um dies zu ermöglichen, sind in der Tabelle 22 die Leitfähigkeitswerte derart umgerechnet, dass die Leitfähigkeit der bei 36° erhaltenen Lösung gleich 1 gesetzt ist. Die fettgedruckten Zahlen geben Mittelwerte an.

---

[1]) Nur für *Sinapis alba* wurde die Permeabilität von 30 bis 45° unverändert gefunden. Hier hilft sich die Verfasserin ganz einfach damit, dass sie die Angaben af Klerckers über negativen Thermotropismus bei *Sinapis* verschweigt!

Tabelle 22.

Temperatur	28°	32°	36°	40°	44°
Leitfähigkeit			1.0	1.7	4.0
		0.67	1.0	2.0	
		0.51	1.0	1.6	
	0.32	0.48	1.0		
	0.32	**0.56**	**1.0**	**1.8**	**4.0**

Aus der Tabelle 22 geht unmittelbar hervor, dass die Übereinstimmung der einzelnen Versuchsergebnisse für den in Rede stehenden Zweck eine befriedigende ist. Man sieht, dass von einer Abnahme der Permeabilität mit steigender Temperatur, wie es die Theorie von Miss Eckerson gefordert hätte, gar keine Rede sein kann. Im Gegenteil nimmt die Permeabilität mit steigender Temperatur rasch und ziemlich gleichmässig zu. Einer Temperaturerhöhung um 4° entspricht nämlich zwischen 28 und 40° eine 1.8-malige Vergrösserung der Permeabilität, und von 40 bis 44° wurde sogar ein Zuwachs im Verhältnis 1 : 2.2 gefunden [1]).

Durch dieses Ergebnis ist meines Erachtens die Eckersonsche Hypothese inbezug auf den negativen Thermotropismus der Wurzeln endgiltig widerlegt [2]).

Auch den schon an sich ziemlich unklaren und schwach

---

[1]) Der von mir beobachtete Temperaturkoeffizient ist mithin etwas grösser als der von Delf an *Allium* und *Taraxacum* nach einer ganz andersartigen Methode gefundene Temperaturkoeffizient ($Q_5 = 1{,}7$) der Permeabilität für Wasser. — Jedenfalls ist es klar, dass das Anwachsen der Elektrolytmengen mit steigender Temperatur in meinen Experimenten nicht allein der gesteigerten Diffusionsgeschwindigkeit zugeschrieben werden kann, denn diese nimmt ja bei Salzen nur um etwa 2,7 % pro Grad C zu.

[2]) Dem Einwand, dass meine Untersuchungen sich ja nur auf die Permeabilität für Elektrolyten beziehen und dass die Nicht-Elektrolyten sich anders verhalten könnten, kann ich keine praktische Bedeutung zuerkennen. Ein solches ganz entgegengesetztes Verhalten der Elektrolyten und der Nicht-Elektrolyten muss von vornherein als äusserst unwahrscheinlich bezeichnet werden. Dazu kommt noch, dass ja auch Miss Eckerson eine gesteigerte Exosmose von Zucker bei 42 ° an *Raphanus*-Wurzeln hat feststellen können (l. c. S. 259).

begründeten Vorstellungen, die Hooker (1915, S. 281) im Anschluss an die Untersuchungen von Miss Eckerson entwickelt hat, wird durch die nachgewiesene Unhaltbarkeit der Angaben der letztgenannten Verfasserin vollständig der Boden entzogen.

Anders steht die Sache betreffs der positiv thermotropischen Krümmungen. Zwar habe ich die Permeabilitätsverhältnisse in dem Gebiet der positiven Krümmungen nicht untersucht, aber nach anderweitigen Erfahrungen zu schliessen kommt es mir ziemlich wahrscheinlich vor, dass die Permeabilität tatsächlich mit steigender Temperatur zunimmt, wie es ja die Theorie von Miss Eckerson in diesem Falle fordert.

Bedeutet nun dies, dass die fragliche Theorie inbezug auf die positiv thermotropischen Krümmungen wirklich zu Recht besteht?

Folgende Überlegung wird zeigen, dass dies durchaus nicht der Fall ist [1]).

Der Kernpunkt der Eckersonschen Theorie liegt in der Annahme, dass die verschiedenen Teile der Wurzel, ohne sich gegenseitig zu beeinflussen, sich so verhalten, wie die an ihr herrschenden Temperaturen es bedingen. Das ist ja aber im Grunde genommen nichts anderes als die alte van Tieghemsche Theorie. Der Unterschied liegt nur darin, dass van Tieghem in erster Linie die Wachstumsvorgänge berücksichtigt, während Miss Eckerson nur mit den Turgorverhältnissen rechnet. Tatsächlich hängt ja die Länge der beiden gegenüberliegenden Flanken sowohl von ihrem Wachstum wie auch von ihrem Turgeszenzzustand ab. Es ist aber nicht nötig den Einfluss der Temperatur auf den Turgor und auf das Wachstum getrennt zu ermitteln, denn diejenigen Längenveränderungen, die z. B. in den Untersuchungen von Miss Leitch registriert und dort kurzweg als »Zuwachs» bezeichnet sind, stellen ja eben die uns in erster Linie interessierende Summe (bezw. Differenz)

---

[1]) Der hier entwickelte Gedankengang, der eigentlich die eben mitgeteilten Permeabilitätsbestimmungen überflüssig macht, wurde von mir erst ersonnen, nachdem dieselben schon fertig ausgeführt waren.

aus den durch eigentliches Wachstum bedingten irreversiblen Längenzunahmen und den durch Turgorveränderungen bewirkten reversiblen Längenänderungen dar. Wir können also ohne weiteres das, was auf S. 72 f. über die Unhaltbarkeit der Anschauungen van Tieghems gesagt ist, auch auf die kombinierte van Tieghem-Eckersonsche Theorie ausdehnen.

Bis jetzt stehen wir also den thermotropischen Reaktionen der Wurzeln ganz ebenso unverstehend gegenüber wie etwa der Tatsache, dass an thermonastisch empfindlichen Blumen auch bei Temperaturen unterhalb des Wachstumsoptimums durch eine weitere Senkung der Temperatur ein vorübergehend gesteigertes Wachstum der Blumenblätter ausgelöst werden kann. Wir kennen den Reiz und können den regelmässig eintretenden Reizerfolg beobachten, haben aber keine auch nur entfernte Vorstellung von der kausalen Verknüpfung dieser beiden Erscheinungen.

Zusammenfassung.

1. In Anlehnung an die erste, von van Tieghem aufgestellte Definition des Thermotropismus wird folgende Definition vorgeschlagen und näher begründet: Jede tropistische Reaktion, die durch Temperaturdifferenzen ausgelöst wird, ist als thermotropisch zu bezeichnen, einerlei ob die fragliche Temperaturdifferenz dadurch zustandekommt, dass Wärme durch Leitung oder durch Strahlung einseitig zugeführt bezw. entfernt wird.

Irgendwelche Übergänge zwischen durch Strahlung ausgelöstem Thermotropismus einerseits und Phototropismus andererseits gibt es nicht.

2. An Keimsprossen verschiedener Pflanzen (*Avena, Zea, Helianthus, Lepidium* und *Vicia*), die einer Temperaturdifferenz ausgesetzt waren, wurden gegen die erwärmte Seite hin gerichtete Krümmungen beobachtet. Die beobachteten Krümmungen kommen wahrscheinlich dadurch zustande,

dass jeder Teil des Sprosses mit derjenigen Geschwindigkeit wächst, wie er wachsen würde, falls die an ihm herrschende Temperatur allseitig auf die Pflanze einwirkte. Diese Auffassung wird durch folgende Tatsachen gestützt:

a) Nach den bis jetzt vorliegenden Beobachtungen zu schliessen treten diese Krümmungen nur in dem Falle ein, dass die Temperatur an der erwärmten Seite des Objektes die Optimumtemperatur des Wachstums übersteigt.

b) Es herrscht ein wenigstens angenäherter Parallelismus zwischen Krümmungs- und Wachstumsgeschwindigkeit der verschiedener Zonen der *Avena*-Koleoptilen.

c) Eine Reizleitung ist bei ausschliesslicher Reizung der Koleoptilenspitze von *Avena* nicht nachzuweisen.

3. Die Angaben P o h l s über eine feine thermotropische Sensibilität halbwüchsiger Sprosse von *Linum usitatissimum* wurden insofern bestätigt, als eine positiv thermotropische Reaktion bei Einwirkung einer ziemlich schwachen Wärmestrahlung einigemal beobachtet wurde. (Eine nähere Untersuchung des Thermotropismus der Leinpflanzen konnte äusserer Umstände wegen nicht ausgeführt werden.)

4. An den Sporangienträgern von *Phycomyces nitens* konnte kein Thermotropismus beobachtet werden, trotzdem die in einigen Versuchen verwendete Strahlungsintensität die früher von S t e y e r (ebenfalls mit negativem Ergebnis) geprüften bedeutend übertraf.

5. Die bis vor kurzem allgemein als thermotropisch aufgefassten Krümmungsreaktionen der Wurzeln, die aber von H o o k e r als hydrotropisch (zum Teil auch als traumatotropisch) bezeichnet worden sind, kommen weder durch Einwirkung von Feuchtigkeitsunterschieden noch von konstant gerichteten Luftströmungen noch auch durch einseitige Beschädigungen zustande und müssen daher als tatsächlich thermotropisch aufgefasst werden.

6. Der Verlauf der thermotropischen Krümmungsreaktion der Keimwurzel von *Pisum sativum* ist genauer als bisher verfolgt worden.

7. Eine Nachwirkung des negativ thermotropischen Reizes konnte an dem zuletztgenannten Objekt nicht nach-

gewiesen werden. Dagegen wurden als Nachwirkung auftretende positiv thermotropische Krümmungen beobachtet.

8. Die negativ thermotropische Krümmung der *Pisum*-Wurzel kann anfänglich durch Aufhebung des Turgors zum grossen Teil rückgängig gemacht werden, wird aber später allmählich durch das Wachstum fixiert.

9. Die Permeabilität der Wurzelzellen von *Pisum sativum* nimmt zwischen 28 und 44° C mit steigender Temperatur kontinuierlich zu, woraus folgt, dass die in diesem Temperaturgebiet auftretenden negativ thermotropischen Krümmungen nicht als passive Krümmungen gegen die Seite der grössten Permeabilität und der hierauf beruhenden geringsten Turgeszenz aufgefasst werden können. Auch unabhängig hiervon lässt sich zeigen, dass die thermotropischen Krümmungen der *Pisum*-Wurzel nicht durch die direkte Einwirkung der Temperatur auf die Turgeszenzverhältnisse bezw. auf die Wachstumsgeschwindigkeit der einzelnen Zellen erklärt werden kann.

Helsingfors, Botanisches Institut der Universität, Januar 1919.

Zitierte Literatur. [1]

1884. B a r t h é l e m y, A. De l'action de la chaleur sur les phénomènes de vegetation. Compt. rend. 98.

1914—15. B l a a u w, A. H. Licht und Wachstum I, II. Ztschr. f. Bot. Bd. 6 u. 7.

1918. B l a a u w, A. H. Licht und Wachstum III. Mededeelingen van de Landbouwhoogeschool. Deel XI.

1916. B r o o k s, S. C. New Determinations of Permeability. Proc. Nat. Acad. Sciences U. S. A. Vol. 2.

1916. D e l f, M. Studies of Protoplasmic Permeability. Annals of Botany. Vol. 30.

1914. E c k e r s o n, S o p h i a. Thermotropism of Roots. Bot. Gaz. Vol. 58.

1903—04. F i t t i n g, H. Untersuchungen über den Haptotropismus der Ranken. Jahrb. wiss. Bot. Bd. 38 u. 39.

1907. F i t t i n g, H. Die Leitung tropistischer Reize in parallelotropen Pflanzenteilen. Jahrb. wiss. Bot. Bd. 44.

1917. F i t t i n g, H. Untersuchungen über isotonische Koeffizienten und ihren Nutzen für Permeabilitätsbestimmungen. Jahrb. wiss. Bot. Bd. 57.

1890. G o d l e w s k i, E. Über die Beeinflussung des Wachsthums der Pflanzen durch äussere Faktoren. Bull. internat. de l'Acad. d. sciences de Cracovie.

1857. G u i l l e m i n, C.-M. Production de la chlorophylle et direction des tiges sous l'influence des rayons ultra-violets, calorifiques et lumineux. Ann. sc. nat. Sér. IV. T. VII.

1914. H o o k e r, H e n r y D. Jr. Thermotropism in Roots. Plant World. Vol. 17.

1915. H o o k e r, H e n r y D. Jr. Hydrotropism in Roots of *Lupinus albus*. Annals of Botany. Vol. 29.

1908. H r y n i e w i e c k i, B. Untersuchungen über den Rheotropismus der Wurzeln. Schriften Naturf. Ges. Univ. Jurjeff. Ref. S. R y w o s c h. Ztschr. f. Bot. Bd. 1. 1909.

[1]) Die wissenschaftliche Literatur der Kriegsjahre ist mir leider nicht vollständig zugänglich gewesen.

1913. Jost, L. Vorlesungen über Pflanzenphysiologie. Dritte Auflage. Jena.
1915. Jost, L. Ztschr. f. Bot. Bd. 7. S. 783.
1891. af Klercker, J. Über caloritropische Erscheinungen bei einigen Keimwurzeln. Öfversikt Vetensk. Akad. Förh. Bd. 48.
1916. Leitch, I. Some Experiments on the Influence of Temperature on the Rate of Growth in *Pisum sativum*. Annals of Botany. Vol. 30.
1916. Lundegårdh, H. Über Blütenbewegungen und Tropismen bei *Anemone nemorosa*. Jahrb. wiss. Bot. Bd. 57.
1916—17. Marklund, G. Über die optimale Reizlage orthotroper Organe. Öfversigt af Finska Vetensk.-Societ. Förhandl. Bd. LIX.
1893. Pfeffer, W. Die Reizbarkeit der Pflanzen. Verhandl. d. Ges. d. Naturf. u. Ärzte.
1904. Pfeffer, W. Pflanzenphysiologie. Zweite Auflage. Zweiter Band. Leipzig.
1909. Pohl, J. Der Thermotropismus der Leinpflanze. Beih. z. Bot. Cbltt. Bd. 24 A.
1912—13. Porodko, T. Vergleichende Untersuchungen über Tropismen. Ber. Bot. Ges. Bd. 30—31.
1894. Rothert, W. Über Heliotropismus. Cohns Beitr. z. Biol. d. Pfl. Bd. 7.
1872. Sachs, J. Ablenkung der Wurzeln von ihrer normalen Wachstumsrichtung durch feuchte Körper. Arb. Bot. Inst. Würzburg. Bd. I.
1905. Sammet, R. Untersuchungen über Chemotropismus und verwandte Erscheinungen bei Wurzeln, Sprossen und Pilzfäden. Jahrb. wiss. Bot. Bd. 41.
1917. Stark, P. Experimentelle Untersuchungen über das Wesen und die Verbreitung der Kontaktreizbarkeit. Jahrb. wiss. Bot. Bd. 57.
1901. Steyer, K. Reizkrümmungen bei *Phycomyces nitens*. Diss. Leipzig.
1915—1917. Stiles, W. and Jorgensen, I. Studies in Permeability I—IV. Annals of Botany. Vol. 29—31.
1874. van Tieghem, Ph. Traité de Botanique. Paris. (Mir ist nur die zweite Auflage des Werkes (Paris 1884) zugänglich gewesen).
1913. Tröndle, A. Der zeitliche Verlauf der geotropischen Reaktion und die Verteilung der geotropischen Sensibilität in der Koleoptile. Jahrb. wiss. Bot. Bd. 52.
1917. Tröndle, A. Über die ersten Stadien der geotropischen Krümmung. Vierteljahrsschr. naturf. Ges. Zürich. Bd. 62.

1888. Vöchting, H. Über den Einfluss der strahlenden Wärme auf die Blütenentfaltung der *Magnolia*. Ber. Bot. Ges. Bd. 6.
1890. Vöchting, H. Über den Einfluss der Wärme auf die Blütenbewegungen der *Anemone stellata*. Jahrb. wiss. Bot. Bd. 21.
1915. Vogt, E. Über den Einfluss des Lichtes auf das Wachstum der Koleoptile von *Avena sativa*. Ztschr. f. Bot. Bd. 7.
1879. Wiesner, J. Die heliotropischen Erscheinungen im Pflanzenreiche. Denkschr. Akad. Wiss. Wien. Bd. 39.
1884. Wiesner, J. Untersuchungen über die Wachstumsbewegungen der Wurzeln. Sitzungsber. d. k. Akademie d. Wiss. Wien. Bd. 89.
1883. Wortmann, J. Über den Einfluss der strahlenden Wärme auf wachsende Pflanzentheile. Bot. Ztg. Bd. 41.
1885. Wortmann, J. Über den Thermotropismus der Wurzeln. Bot. Ztg. Bd. 43.

ANHANG.

Auswahl im Obigen nicht angeführter Versuchsprotokolle.

1. Einseitige Bestrahlung von Helianthus-Keimlingen.

A. Versuche bei niedriger Lufttemperatur.

N:o 1. Z. T. 8°. 3 Keimlinge (a, b und c). Entf. a und b 7 cm, c 10 cm. — 45′: keine Reaktion. — 90′: a und b sehr kräftig +, c ungekrümmt. — 105′: ebenso.

N:o 2. Z. T. 6°. 3 Keimlinge (a, b und c). Entf. 10 cm. — 60′: a ±, b +, c ±. — 90′: a und b ±, c +. — 120′: a ±, b —, c schwach +. — 135′: a und c kaum merklich +, b schwach —. — 150′: ebenso. — 165′: alle drei fast gerade.

N:o 3. Z. T. 7°.4. 2 Keimlinge (a und b). Entf. 11 cm. — 15′, 30′ und 45′: beide ungekrümmt. — 60′: a ±, b schwach —. — 75′: ebenso. — 90′: beide ±. — 105′: a ±, b schwach +. — 120′: ebenso. — 135′: beide ±. — 150′: ebenso.

N:o 4. Z. T. 7°.2. 2 Keimlinge. Entf. 11 cm. — 15′, 30′, 45′, 60′, 75′, 90′, 105′, 120′, 135′ und 150′: beide ungekrümmt.

N:o 5. Z. T. 10°.8. 1 Keimling. Entf. 14.5 cm. Während 2 Stunden sicher keine negative Krümmung, zuletzt eher schwach positiv.

N:o 6. Z. T. 6°.8. 2 Keimlinge. Entf. 14.5 cm. Während 2 ½ Stunden keine deutliche Reaktion. (Die eine Pflanze nach 1 ½ Stunden schwach —, später ±. Die andere zuerst ±, zuletzt schwach +.)

N:o 7. Z. T. 3°.8. 1 Keimling. Entf. 15 cm. — 75′: +. — 120′: schwach +.

B. Versuche bei mittlerer Lufttemperatur (meistens 16—24°).

a. Entf. 5 cm.

N:o 8. Z. T. 26°. — Bereits nach 4 Minuten sind einige Pflanzen kräftig positiv gekrümmt.

b. Entf. 10 cm.

N:o 9. 7 Keimlinge. — Die ersten Krümmungen nach 20′ sichtbar. — 30′: ± 0°, + 6°, + 6°, + 11°, + 14°, + 14°, + 19°. + *10°*.

N:o 10. Z. T. 18°. 6 Keimlinge. — 15′: fast sämtliche Pflanzen positiv gekrümmt. — 120′: + 13°, + 24°, + 27°, + 28°, + 35°, + 37°. + *27°*.

c. Entf. 11 cm.

N:o 11. 6 Keimlinge. — 30′: + 6°, + 11°, + 11°, + 17°, + 21°, + 28°. + *16°*.

N:o 12. 7 Keimlinge. — 180′: + 3°, + 11°, + 15°, + 19°, + 27°, + 34°, + 39°. +*21°*.

N:o 13. Z. T. 17—18°. 8 Keimlinge. — 300′: ± 0°, + 5°, + 6°, + 9°, + 11°, + 11°, + 22°, + 31°. + *12°*.

N:o 14. 7 Keimlinge. — 30′: Einzelne Pflanzen schwach +. — 360′: + 17°, + 18°, + 19°, + 22°, + 27°, + 29°, + 45°. + *25°*.

N:o 15. 6 Keimlinge. — 11 Stunden: + 11°, + 14°, + 26°, sowie zwei von der Hitze sichtlich beschädigte und eine getötete Pflanze.

d. Entf. 12 cm.

N:o 16. Z. T. 25°. 5 Keimlinge. — 15′: ± 0°, + 4°, + 5°, + 9° + 11°. + *6°*.

N:o 17. Z. T. 19°. 5 Keimlinge. — 15′: alle ± — 30′: einige Pflanzen schwach +. — 120′: + 6°, + 10°, + 19°, + 24°, + 27°. + *17°*.

e. Entf. 14 cm.

N:o 18. Z. T. 19°. 2 Keimlinge. — 45′: die eine Pflanze beginnt sich positiv zu krümmen. — 60′: die eine kräftig, die andere schwach positiv gekrümmt.

N:o 19. Z. T. 18°. 2 Keimlinge. — 50′: beide ±. — 65′: die eine beginnt sich positiv zu krümmen. — 90′: beide deutlich +.

N:o 20. Z. T. 18°. 5 Keimlinge. — 30′: alle ±. — 60′: 3 schwach +, 2 ±. — 120′: ± 0°, + 6°, + 9°, + 13°, + 14°. + *8°*.

N:o 21. Z. T. 17°. 5 Keimlinge. — 60′: 1 Pflanze positiv, 5 ±. — 120′: + 6°, + 6°, + 10°, + 11°, + 17°. + *10°*.

N:o 22. Z. T. 16°. 2 Keimlinge. — Nach 20′ ist die eine Pflanze schwach + gekrümmt. Während der folgenden 20′ nimmt die Krümmung zu, geht aber später zurück. — 120′: beide ±.

N:o 23. Z. T. 19—20°. 2 Keimlinge. — 40′: beide ±. — 120′: beide deutlich +.

N:o 24: Z. T. 19—23°. 2 Keimlinge. — 45′: beide ±. — 60′: beide ca. + 7°. — 90′: die eine Pflanze + 14°, die andere fast gerade. — 120′: die eine + 18°, die andere fast gerade.

f. Entf. 15 cm.

N:o 25. Z. T. 24°. 5 Keimlinge. — 50′: alle ±. — 75′: die halbe Anzahl +. — 120′: + 5°, + 6°, + 11°, + 11°, + 15°, + *10°*.

N:o 26. Z. T. 19°. 5 Keimlinge. — 120′: 4 Pflanzen +, 1 ±.

N:o 27. Z. T. 20°. 5 Keimlinge — 60′: 1 Pflanze schwach +, 4 ±. — 120′: 3 +, 2 ±. — 150′: alle mehr oder weniger +.

N:o 28. Z. T. 20.° 7 Keimlinge. — 300′: 1 Pflanze kräftig +, 4 schwach +, 2 gerade.

N:o 29. Z. T. 25°. 5 Keimlinge. — 60′: 2 oder 3 Pflanzen +. Die Bestrahlung wurde jetzt abgebrochen. — 90′: Die Pflanzen wie zuletzt.

g. Entf. 16—18 cm.

N:o 30. Z. T. 18°. 5 Keimlinge. — 60′: alle ±. — 90′: einige Pflanzen schwach +. — 120′: + 5° + 9°, + 11°, + 12°, + 17°. + *11°*.

N:o 31. Z. T. 18°. 4 Keimlinge. — 60′: alle ±. — 120′: + 6°, + 7°, + 9°, + 14°. + *9°*.

N:o 32. Z. T. 24°. 6 Keimlinge. — 60′: 1 Pflanze +, 5 +. — 120:′ ± 0, ± 0°, ± 0°, ± 0°, + 9°, + 11°. + *3°*.

N:o 33. 5 Keimlinge. — 180′: alle ±. — 600′: ebenso.

N:o 34. Z. T. 26°. — 240′: mehr als die halbe Anzahl schwach +.

N:o 35. Z. T. 19°. 6 Keimlinge. — 70′: Einige Pflanzen beginnen sich positiv zu krümmen. — 120′: die meisten schwach +. — 300′: 4 +, 2 ±.

N:o 36. Z. T. 21°. 4 Keimlinge. — Während 5 Stunden (zahlreiche Beobachtungen!) keine ausgeprägte Reaktion.

N:o 37. Z. T. 20°. 4 Keimlinge. — Während 9 Stunden (zahlreiche Beobachtungen!) keine ausgeprägte Reaktion.

N:o 38. Z. T. 21°. 8 Keimlinge. — 12 Stunden: 1 Pflanze schwach ±, 7 +.

N:o 39. Z. T. 18—20°. 6 Keimlinge. — 13 Stunden: 1 Pflanze —, 5 ±.

h. Entf. 20—24 cm.

N:o 40. Z. T. 18°. 4 Keimlinge. — 30′: 2 Pflanzen schwach —, 2 ±. — 120′: ± 0°, + 5°, + 6°, + 9°. + *5°*.

N:o 41. Z. T. 18°. 8 Keimlinge. — 120′: 2 Pflanzen +, 6 ±.

N:o 42. Z. T. 18°. 4 Keimlinge. 120′: alle ±.

N:o 43. Z. T. 23°. 5 Keimlinge — 120′: — 3°, + 4°, + 6°, + 6°, + 6°. + *4°*.

N:o 44. Z. T. 25°. 7 Keimlinge. — Während 2 Stunden (zahlreiche Beobachtungen!) keine deutliche Reaktion. (120′: — 5°, ± 0°, ± 0°, ± 0°, + 3°, + 3°, + 6°, + *1°*.

N:o 45. Z. T. 25°. 7 Keimlinge. Während 2 Stunden (zahlreiche Beobachtungen!) keine deutliche Reaktion. (120′: — 12°, — 6°, — 1°, ± 0°, + 5°, + 6°, + 12°. ± 0°).

N:o 46. Z. T. 19°. 4 Keimlinge. 20′: 2 +, 2 ±. — 120: alle ±. — 150′: 1 —, 3 ±. — 180′: alle ±. — 210′: 1 +, 1 —, 2 ±. — 270′: 1 —, 3 ±.

N:o 47. Z. T. 19°. 5 Keimlinge. — 105′: alle ±. — 225′: 1 —, 4 ±. — 450′: 1 —, 4 ±.

N:o 48. Z. T. 16—18°. 6 Keimlinge. — Nach 12 Stunden: — 5°, — 6°, ± 0°, ± 0°, ± 0°, + 9°, ± 0°.

N:o 49. Z. T. 18—19°. 5 Keimlinge. — Nach 13 Stunden: 1 Pflanze schwach —, 4 ±.

N:o 50. Z. T. 18°. 3 Keimlinge. — 60′: 1 schwach +, 1 schwach —, 1 ±. — 120′: 1 schwach +, 2 ±. — 150′: ebenso. — Nach 14 Stunden: 1 schwach —, 2 ±.

N:o 51. Z. T. 19—20°. 7 Keimlinge. — 120′: keine Reaktion. — Nach 14 Stunden: 2 —, 5 ±.

N:o 52. Z. T. 19°. 4 Keimlinge. — 30′: 1 +, 3 ±. — 60′: 1 —, 3 ±. — 90′: 1 +, 1 —, 2 ±. — 180′: 1 +, 3 ±. — 210′: 1 +, 1 —, 2 ±. — 240′: alle ±. — 270′: ebenso. — Nach 17 Stunden: 1 +, 1 —, 2 ±.

2. *Einseitige Bestrahlung von Zea-Keimlingen.*

(Temperatur im Versuchszimmer etwa 16—25° C.)

N:o 1. — 2 Keimlinge. Entf. 13 cm. Nach 2 Stunden beide kräftig +.

N:o 2. — a) 3 Keimlinge. Entf. 13 cm. b) 3 Keimlinge. Entf. 100 cm. — Nach 10 Stunden a) alle + [1]), b) alle ±.

N:o 3. — 1 Keimling. Entf. 14 cm. Nach 35′ +.

N:o 4. — 2 Keimlinge. Entf. 15 cm. Nach 9 Stunden 1 +, 1 ±.

N:o 5 — a) 3 Keimlinge. Entf. 15 cm. b) 3 Keimlinge. Entf. 30 cm. c) 2 Keimlinge. Entf. 50 cm. — Nach 10 Stunden a) 1 + [1]) 2 ±, b) 2 + [1]), 1 ±, c) 1 + [1]), 1 ±.

N:o 6. — a) 2 Keimlinge (a_1 und a_2). Entf. 15 cm., b) 1 Keimling. Entf. 25 cm. c) 1 Keimling. Entf. 40 cm. — Nach 6 Stunden: a_1 —, a_2 ±, b) —, c) schwach —. — Nach 11 Stunden: a_1 — 30°, a_2 — 15°, b) — 20°, c) — 10°.

N:o 7. — a) 2 Keimlinge. Entf. 15 cm. b) 4 Keimlinge. Entf. 25 cm. c) 4 Keimlinge. Entf. 40 cm. — Nach 10 Stunden a) beide + [1]), b) 1 +, 1 —, 2 ±, c) 2 +, 1 —, 1 ±.

---

[1]) Hypokotyl und Basalteil der Koleoptile gekrümmt, Koleoptilenspitze dagegen mehr oder weniger lotrecht stehend.

N:o 8. — 3 Keimlinge. Entf. 25 cm. Nach 12 Stunden alle ±.

N:o 9. — 2 Keimlinge. Entf. 25 cm. Nach 9 Stunden beide ±.

N:o 10. — a) 1 Keimling. Entf. 25 cm. b) 2 Keimlinge. Entf. 40 cm. c) 2 Keimlinge. Entf. 60 cm. — Nach 12 Stunden a) schwach +, b) beide ±, c) beide ±.

N:o 11 [1]). — 5 Keimlinge. Entf. 40 cm. Nach 10 Stunden: 3 sehr stark +, 1 stark seitwärts gebogen, 1 gerade.

N:o 12. — 3 Keimlinge. Entf. 40 cm. Nach 11 Stunden: 2 sehr stark seitwärts gebogen, 1 sehr stark negativ.

N:o 13. — 3 Keimlinge. Entf. 40 cm. Nach 12 Stunden alle ±.

N:o 14. — 2 Keimlinge. Entf. 40 cm. Nach 12 Stunden beide ±.

N:o 15 — 3 Keimlinge. Entf. 40 cm. Nach 9 Stunden alle ±.

3. *Die im Sommer 1918 mit Leinpflanzen ausgeführten Versuche.*

Versuch 1. — 14. VII. Sieben 17—24 cm hohe Pflanzen standen 3 ½ Stunden 60 cm von der anfangs etwa 50° warmen, später etwas kühleren Ofentür entfernt. Keine deutliche Reaktion.

Versuch 2. — 15. VII. Sechs von den im vorigen Versuch verwendeten Pflanzen (A-F) standen 55 cm von der im Anfang 75°, später etwa 55° warmen Ofentür entfernt. Die Pflanzen zeigten die unten angegebenen Richtungen in der H. E. [2]):

Pflanze	A	B	C	D	E	F
Richtung nach 0'	+45°	± 0°	+10°	—45°	—45°	—45°
» » 30'	+90°	+60°	+60°	± 0°	± 0°	± 0°
» » 60'	+90°	+80°	+70°	+20°	± 0°	+50°

Als aber der Kasten dann umgedreht wurde, trat in den zwei folgenden Stunden keine auffallende Veränderung ein.

[1]) In den Versuchen 11 und 12 rotierten die Keimlinge auf einem Klinostaten.

[2]) Die Richtungslinien der Pflanzengipfel sind teils in die Horizontalebene (abgekürzt H. E.) und teils in die Vertikalebene (abgekürzt V. E.) projiziert zu denken. Im ersteren Falle bedeutet z. B. +90°, dass die Projektion senkrecht gegen die Strahlungsquelle gerichtet ist, ±0°, dass sie mit der strahlenden Fläche parallel ist, und —90°, dass sie senkrecht von der Strahlungsquelle absteht. Bezüglich der Projektionen in die V. E. ist zu erwähnen, dass die lotrechte Richtung mit 0° und die wagerechte mit 90° bezeichnet ist. — Alle Winkel sind nur nach Augenmass geschätzt.

Versuch 3. — 17. VII. Dieselben Pflanzen wie vorher. Entf. 40 cm. Temperatur der Ofentür etwa 55—50°. In zwei Stunden keine ausgeprägte Reaktion.

Versuch 4. — 20. VII. Zwei Pflanzen (A und B) derselben Kollektion wie in den vorigen Versuchen (die Pflanzen jetzt 28 Tage alt und etwa 24 cm hoch). Z. T. 22°.

4.35 h Temp. der Ofentür 60°. — A: Entf. 32 cm, H. E. — 25°, V. E. 45°. — B: Entf. 18 cm, H. E. ± 0°, V. E. 45°.

5.10 h — A: H. E. + 90°, V. E. 90°. — B: H. E. + 80°, V. E. 90°. — (Der Gipfel von B hat also in 35′ eine Drehung von 100° ausgeführt, denn die Drehung hat sich 10° über die senkrechte Lage hinaus fortgesetzt, und derjenige von A hat sich sogar 115° gedreht. Dazu kommt noch in beiden Fällen eine Senkung des Gipfels um 45°.) — Der Kasten wurde jetzt so gedreht, dass A. Entf. 20 cm, H. E. ± 0°, und B: Entf. 20 cm, H. E. + 20°.

5.40 h B: H. E. + 40°, sonst alles fast unverändert.

6.10 h A: V. E. fast 0°. — B: H. E. + 70°, V. E. 90°. — Da die Ofentür etwas kühler geworden ist, werden die Pflanzen 8 cm näher gerückt und gleichzeitig etwas gedreht, sodass B die Richtung + 45° in der H. E. bekommt.

6.40 h A: H. E. + 90°, V. E. 80°. — B: H. E. + 80° (V. E. 90°?)

7.20 h und 8.00 h. Die Ofentür ist bedeutend kühler geworden. Hierauf beruht es wohl, dass beide Pflanzen beliebige Richtungen angenommen haben.

Versuch 5. — 21. VII. Dieselben Pflanzen wie im vorigen Versuch. Z. T. 22°.

10.30 h Temp. der Ofentür 65°. Beide Pflanzen: Entf. 20 cm, V. E. 0°.

11.00 h A: H. E. + 90°, V. E. 90°. — B: H. E. + 75°, V. E. 95°.

11.30 h Beide Pflanzen fast unverändert. — Der Kasten wurde 180° gedreht, sodass A: H. E. — 90° und B: H. E. — 80°.

12.00 h A: H. E. ± 0°, V. E. 35°. — B: H. E. — 50°, V. E. 15°. — Da die Ofentür etwas kühler geworden ist, werden die Pflanzen 8 cm näher gerückt.

12.30 h A: H. E. + 90°, V. E. 110°. — B: H. E. + 90°, V. E. 100°.

1.00 h Temp. der Ofentür 45°. Pflanzen fast unverändert.

2.00 h Pflanzen unverändert. — Der Kasten wird 180° gedreht, sodass die Richtung der beiden Pflanzen in H. E. — 90° wird.

2.30 h A: H. E. — 45°, V. E. 45°. — B: H. E. — 90°, V. E. 100°.

3.00 h Temp. der Ofentür 40°. A ist eigentümlich gebogen, B wie vorher.

3.30 h Der Ofen st vor kurzem wieder angeheizt worden, und

die Temp. der Ofentür ist soeben auf 70° gestiegen. — A: H. E. + 90°, V. E. 90°. B wie vorher.

4.00 h Temp. der Ofentür 50°. — A: H. E. + 80°. B: H. E. + 70°.

4.30 h Ebenso.

5.10 h Temp. der Ofentür 45°. Pflanzen wie zuletzt. — Der Kasten wurde 180° gedreht und dem Ofen so viel genähert, dass Entf. 10 cm.

6.00 h Temp. der Ofentür 40°. A: H. E. ± 0°. — B: H. E. — 45°.

6.30 h Temp. der Ofentür 38°. A: H. E. + 50°, V. E. 20°. — B: H. E. — 60°. V. E. 40°.

7.00 h A: H. E. + 90°, V. E. 20°. — B: H. E. — 90°, V. E. 30°.

Versuch 6. — 25. VII. Zwei neue Pflanzen: A 23 cm und B 30 cm hoch. — Während die ursprünglich beide H. E. — 45° gerichteten Pflanzen 75′ in Entf. 17 cm standen (Temp. der Ofentür steigt von 45 auf 55°), wandten sich beide Pflanzen senkrecht gegen die Strahlungsquelle (H. E. + 90°, V. E. etwas über 90°). — Der Kasten wurde jetzt (1.05 h) so gedreht, dass H. E. ± 0° wurde und Entf. 30 cm. — 90′ später ist A wieder H. E. + 90°, V. E. ca. 90°, doch wird diese Richtung nicht die ganze Zeit beibehalten, als der Kasten 2 ½ Stunden in derselben Stellung gelassen wird (Temp. 45—50°). B. verharrt die ganze Zeit fast H. E. ± 0°. — 5.05 h wurden die Pflanzen näher gerückt, sodass Entf. 12 cm. — 6.00 h A: H. E. wieder + 90°. Der Kasten wird jetzt 180° gedreht A: Entf. 25 cm. B: Entf. 30 cm. Temp. der Ofentür sinkt allmählich von 50 auf 38°. — A war 8.00 h H. E. + 90° und verblieb so, bis der Versuch 8.30 h abgebrochen wurde. B führte dagegen nur spontane Drehungen aus.

Versuch 7. — 26. VII. 1 Pflanze (A der vorigen Kollektion). Z. T. 21°. Entf. 30 cm. Die Temp. der Ofentür schwankte zwischen 35 und 75°. Reaktion überhaupt undeutlich, eher + als —.

Versuch 8. — 27. VII. Pflanze A des vorigen Versuches.

Zeit	11.05	11.35	11.35	12.05	12.45	1.15	1.45	2.15	2.45
Temp. der Ofentür .	80°	75°	75°	65°	55°	50°	50°	45°	40°
Entf. (cm) .	6	6[1]	9	9	9	9	9	9	9
H. E.	± 0°	+ 40°	+ 40°	+ 50°	—	—	— 60°	+ 80°	+ 90°
V. E.	15°	90°	90°	90°	0°	0°	30°	45°	45°

[1]) Die Gipfelblätter einiger Pflanzen berührten die Ofentür, weshalb die Pflanzen 3 cm entfernt wurden.

Zeit	3.15	3.45	4.15	4.45	5.15	5.45	6.15	6.45
Temp. der Ofentür	75°	75°	65°	55°	50°	45°	42°	40°
Entf. (cm)	9	9	9	9	9	9	9	9
H. E.	—	+ 80°	—	+ 90°	+ 90°	— 50°	± 0°	± 0°
V. E.	0°	45°	0°	60°	40°	45°	90°	105°

Versuch 9. — 31. VII. Zwei Seitensprosse abgeköpfter Pflanzen. (A und B). Z. T. 23°.

	Zeit	2.15	2.45	3.15	3.45	4.15	4.30	5.00	5.55	6.25	6.55
	Temp. der Ofentür.	75°	70°	60°	55°	55°	50°	50°	47°	42°	40°
	Entf. (cm).	80	80	80	80	80	10	10	10	10	10
A	H. E..	± 0°	± 0°	± 0°	— 60°	— 70°	— 30°	+ 20°	+ 90°	+ 90°	+ 90°
A	V. E..	90°	110°	100°	80°	80°	90°	105°	105°	90°	45°
B	H. E..	± 0°	— 50°	± 0°	+ 70°	+ 90°	+ 45°	± 0°	+ 70°	+ 70°	+ 80°
B	V. E..	60°	90°	65°	90°	80°	60°	75°	100°	100°	90°

Versuch 10. — 1. VIII. Neun 22—26 cm hohe Pflanzen. Z. T. 20°. Temp. der Ofentür 50—65°. Die Pflanzen standen 5 ½ Stunden 5—30 cm entfernt, ohne zu reagieren.

Versuch 11. — 18. VIII. Sechs 17—29 cm hohe Pflanzen. Temp. der Ofentür 55—75°. Standen 3 ½ Stunden 12—18 cm entfernt, ohne zu reagieren (nur ganz regellose Nutationen).

4. *Nachkrümmungen thermotropisch gereizter Pisum-Wurzeln.* [1])

Versuch 1. — 5 Wurzeln 30′ bei 19° und 6°.2 pro cm exponiert.

Zeit [2])	30′	60′	120′	240′	360′	420′
Krümmungsmittel	— 1°	+ 2°	+ 1°	— 1°	+ 1°	± 0°

[1]) In den Versuchen 1—7 und 11 rotierten die Wurzeln auf einem Klinostaten (an dem sie derart angebracht waren, dass eine eventuelle Störung im Gang desselben auf die halbe Zahl der Wurzeln gerade entgegengesetzt wie auf die andere Hälfte hätte einwirken müssen); in den Versuchen 8—10 und 12 wurden sie in einer feuchten Kammer gehalten.

[2]) Die Zeit wird vom Beginn der Reizung gerechnet.

Versuch 2. — 6 Wurzeln 30′ bei 19° und 6°.2 pro cm exponiert.

Zeit	30′	60′	120′	240′	360′
Krümmungsmittel . . .	± 0°	— 1°	+ 3°	— 1°	— 4°

Versuch 3. — 3 Wurzeln (A-C) 30′ und 5 (D-H) 45′ bei 19° und 6.°4 pro cm exponiert.

Zeit	A	B	C	D	E	F	G	H	A—C	D—H
30′.	— 5°	± 0°	— 10°						— 5°	
45′.				± 0°	— 5°	— 10°	— 5°	— 10°		— 7°
60′.	± 0°	± 0°	— 5°	— 5°	± 0°	— 10°	— 5°	± 0°	— 2°	— 4°
120′.	+ 10°	± 0°	± 0°	± 0°	± 0°	± 0°	+ 20°	± 0°	+ 3°	+ 4°
180′.	+ 10°	+ 8°	± 0°	± 0°	+ 5°	± 0°	+ 20°	+ 10°	+ 6°	+ 7°
240′.	+ 15°	+ 15°	+ 5°	+ 5°	+ 10°	± 0°	+ 20°	+ 20°	+ 12°	+ 11°
300′.	+ 15°	+ 20°	+ 5°	+ 5°	+ 10°	± 0°	+ 20°	+ 30°	+ 13°	+ 13°
330′.	+ 10°	+ 20°	+ 5°	± 0°	+ 5°	± 0°	+ 15°	+ 30°	+ 12°	+ 10°

Versuch 4. — 4 Wurzeln (A-D) 45′ und 4 (E-H) 60′ bei 19° und 6°.4 pro cm exponiert.

Zeit	A	B	C	D	E	F	G	H	A—D	E—H
60′.	± 0°	— 5°	± 0°	+ 5°	± 0°	± 0°	± 0°	± 0°	± 0°	± 0°
135′.	+ 10°	± 0°	± 0°	+ 20°	+ 20°	+ 10°	+ 15°	± 0°	+ 7°	+ 11°
180′.	+ 15°	± 0°	± 0°	+ 20°	+ 30°	+ 10°	+ 25°	+ 5°	+ 9°	+ 17°
240′.	+ 20°	± 0°	± 0°	+ 20°	+ 30°	+ 15°	+ 25°	+ 10°	+ 10°	+ 20°
300′.	+ 20°	± 0°	± 0°	+ 20°	+ 30°	+ 10°	+ 25°	+ 10°	+ 10°	+ 19°
480′.	+ 10°	± 0°	± 0°	+ 15°	+ 25°	+ 5°	+ 20°	+ 5°	+ 9°	+ 14°

Versuch 5. — 4 Wurzeln (A-D) 45′ und 4 (E-H) 60′ bei 18° und 6°.2 pro cm exponiert.

Zeit	A	B	C	D	E	F	G	H	A—D	E—H
95′.	— 5°	— 5°	— 25°	— 5°	± 0°	— 15°	± 0°	± 0°	— 10°	— 4°
165′.	+ 5°	± 0°	+ 10°	+ 10°	+ 15°	± 0°	+ 5°	+ 5°	+ 6°	+ 6°
225′.	+ 10°	+ 5°	+ 20°	+ 10°	+ 20°	+ 10°	+ 10°	+ 20°	+ 11°	+ 15°
285′.	+ 10°	+ 15°	+ 15°	+ 10°	+ 20°	+ 20°	+ 15°	+ 30°	+ 12°	+ 21°
345′.	+ 10°	+ 15°	+ 10°	+ 20°	+ 25°	+ 20°	+ 15°	+ 28°	+ 14°	+ 22°

Versuch 6. — 6 Wurzeln (A-F) 1 Stunde bei 19° und 6°.4 pro cm exponiert.

Zeit	A	B	C	D	E	F	A—F
60′.	— 5°	+ 5°	— 5°	± 0°	± 0°	± 0°	— 1°
120′.	± 0°	+ 10°	+ 10°	+ 10°	± 0°	± 0°	+ 5°
360′.	+ 10°	+ 15°	+ 50°	+ 40°	+ 20°	+ 30°	+ 27°

Versuch 7. — 5 Wurzeln (A-E) 70′ bei 19° und 6°.4 pro cm exponiert.

Zeit	A	B	C	D	E	A—E
70′.	Fast gerade					
130′.	± 0°	± 0°	± 0°	± 0°	± 0°	± 0°
390′.	+ 40°	+ 30°	+ 10°	+ 40°	+ 30°	+ 30°

Versuch 8. — 5 Wurzeln (A-E) 75′ bei 16° und 6°.2 pro cm exponiert.

Zeit	A	B	C	D	E	A—E
75′.	— 5°	— 5°	— 5°	— 10°	— 10°	— 5°
125′.	+ 5°	— 5°	— 10°	— 20°	— 20°	— 10°
215′.	± 0°	± 0°	+ 10°	± 0°	+ 10°	+ 4°
275′.	± 0°	+ 10°	+ 10°	+ 15°	+ 15°	+ 10°
335′.	± 0°	+ 20°	+ 15°	+ 15°	+ 20°	+ 15°
420′.	± 0°	+ 5°	+ 25°	+ 5°	+ 10°	+ 9°

Fünf Vergleichswurzeln, während der ganzen Zeit (420′) der Temperaturdifferenz ausgesetzt, zeigten folgende Krümmungswinkel: + 30°, + 35°, + 50°, + 60°, + 70°. Mittel: + *49°*.

Versuch 9. — 5 Wurzeln (A-E) 105′ bei 16° und 6°.2 pro cm exponiert.

Zeit	A	B	C	D	E	A—E
105′	+ 12°	+ 10°	± 0°	+ 3°	± 0°	+ 5°
315′	+ 30°	+ 40°	+ 10°	+ 30°	± 0°	+ 24°

Drei Vergleichswurzeln, während der ganzen Zeit (315′) der Temperaturdifferenz ausgesetzt, zeigten folgende Krümmungswinkel: ± 0°, ± 0°, + 10°, + 10°, + 30°. Mittel: + *10°*.

Versuch 10. — 5 Wurzeln (A—E) 105′ bei 16° und 6°.2 pro cm exponiert.

Zeit	A	B	C	D	E	A—E
105′	Alle Wurzeln fast gerade.					
300′	± 0°	+ 20°	+ 25°	+ 30°	+ 30°	+ 21°

Unter fünf Vergleichswurzeln (während der ganzen Zeit der Temperaturdifferenz ausgesetzt) war eine + 20°, die anderen aber fast gerade.

Versuch 11. — 7 Wurzeln (A-G) 2 Stunden bei 19° und 6°.4 pro cm exponiert.

Zeit	A	B	C	D	E	F	G	A—G
120′	± 0°	— 5°	— 10°	± 0°	— 5°	— 10°	— 5°	— 5°
180′	— 5°	+ 5°	— 10°	± 0°	— 5°	± 0°	+ 5°	— 1°
275′	± 0°	+ 20°	— 10°	+ 5°	± 0°	± 0°	± 0°	+ 2°

Versuch 12. — 5 Wurzeln (A-E) 2 Stunden bei 16° und 6°.2 pro cm exponiert.

Zeit	A	B	C	D	E	A—E
120'.	+ 12°	± 0°	− 10°	+ 5°	± 0°	+ 1°
195'.	+ 22°	+ 34°	± 0°	+ 40°	+ 5°	+ 20°
290'.	+ 30°	+ 20°	± 0°	+ 40°	+ 30°	+ 24°

Drei Vergleichswurzeln (während der ganzen Zeit der Temperaturdifferenz ausgesetzt): + 6°, + 10°, + 15°. Mittel: + *10*.

Öfversigt af Finska Vetenskaps-Societetens Förhandlingar.
Bd. LXI. 1918—1919. Afd. A. N:o 12.

Über die Verteilung der meteorologischen Elemente in Helsingfors und Kuopio in der Umgebung der Barometerminima und Maxima.

Von

O. Jansson und Osc. V. Johansson.

Die Untersuchung wurde nach dem bekannten Muster Hildebrandssons ausgeführt. Sämtliche Beobachtungen um 7a in den 3 Wintermonaten Dezember—Februar und in den 3 Sommermonaten Juni—August der 10 Jahre 1891—1900 in Helsingfors (Breite = 60° 10′ N, Länge = 24° 57′ E v. Gr. Meereshöhe = 12 m) und Kuopio (Breite = 62° 54′ N Länge = 27° 40° E. v. Gr. Meereshöhe 100 m) wurden je nach der Gradientrichtung und der Höhe des Luftdruckes in Gruppenmitteln zusammengeführt. Die Luftdruckverteilung wurde nach den grossen deutsch-dänischen synoptischen Karten bestimmt. Die Luftdruckzonen waren wie bei Hildebrandsson:

A	*B*	*C*	*D*	*E*	*F*	*Mx*
Min. < 745 mm	745—	755—	760—	765	> 765 mm.	Max.

Fälle, wo sekundäre Luftdrucksgebilde an dem betreffenden Orte vorkamen, sind im allgemeinen weggelassen mit Ausnahme von dem Gebiet zwischen zwei Barometerminima (*M*), dem Keile, dem Sattel und der V-Depression, für welche besondere Mittel gebildet werden könnten. Die Zahl der Fälle in den verschiedenen Gruppen war die folgende:

[1]) Nova Acta Reg. Soc. Scient. Ups. Vol. XII Fasc. II 1883.

Tab. 1. Helsingfors, Winter.

Gebiet \ Grad.	N	NW	W	SW	S	SE	E	NE	Summe	
										A = 39
B	10	**20**	14	5*	7	5*	9	16	86	V-Form = 5
C	25	**37**	22	11	10*	13	19	31	168	Sattel = 27
D	12	**37**	17	20	9	8*	14	12	129	Keil = 15
E	15	**37**	15	23	6*	10	8	19	133	M = 20
F	25	33	34	**48**	10*	23	13	27	213	Mx = 56
Summe	87	**164**	102	107	42*	59	63	105	729	Total = 891

Tab. 2. Helsingfors, Sommer.

										A = 61
B	1	2	3	0	0	0	0	5	11	V-Form = 11
C	23	**56**	28	14*	15	20	22	15	193	Sattel = 33
D	38	**52**	18*	18*	21	25	23	36	231	Keil = 14
E	22	15	13*	13*	19	**32**	29	29	172	M = 52
F	6	4	4*	7	5	**11**	7	6	50	Mx = 61
Summe	90	**129**	66	52*	60	88	81	91	657	Total = 889

Tab. 3. Kuopio, Winter.

B	10	**25**	11	12	7	6*	6*	12	89	A = 28
C	17	**49**	23	11	11*	14	17	27	169	
D	12	**33**	9	17	6*	7	9	20	113	M = 37
E	17	**33**	21	11	5*	12	10	12	121	
F	41	**51**	33	29	16	12	9*	29	220	Mx = 53
Summe	97	**191**	97	80	45*	51	51	100	712	Total = 830

Tab. 4. Kuopio, Sommer.

B	1	**2**	0*	1	0*	0*	2	1	7	A = 36
C	37	**52**	28	27	14*	16	20	24	218	
D	19	**43**	21	29	23	29	16*	42	222	M = 53
E	14	21	9*	15	15	**41**	21	21	157	
F	8	5	2*	8	5	6	**9**	5	48	Mx = 56
Summe	79	**123**	60	80	57*	92	68	93	652	Total = 797

Tab. 5. Zusammenstellung in 2 Hauptgebieten.

B + C + D		N	NW	W	SW	S	SE	E	NE	Summe
Winter	H:fors	47	**94**	53	36	26*	26	42	59	383
	Kuopio	39	**107**	43	40	24*	27	32	59	371
Sommer	H:fors	62	**110**	49	32*	36	45	45	56	435
	Kuopio	57	**97**	49	57	37*	45	38	67	447
E + F										
Winter	H:fors	40	70	49	**71**	16*	33	21	46	346
	Kuopio	58	**84**	54	40	21*	24	19	41	341
Sommer	H:fors	28	19	17*	20	24	**43**	36	35	222
	Kuopio	22	26	11*	23	20	**47**	30	26	205

Tab. 6. Prozentische Verteilung.

		N	NW	W	SW	S	SE	E	NE	Summe
Winter	H:fors . .	9.6	**18.2**	11.3	11.8	4.7*	6.5	7.0	11.6	80.7
	Kuopio . .	10.7	**21.1**	10.7	8.9	5.0*	5.7	5.7	11.1	78.9
Sommer	H:fors . .	9.8	**14.0**	7.2	5.7*	6.5	9.6	8.8	9.9	71.5
	Kuopio . .	8.6	**13.4**	6.5	8.7	6.2*	10.0	7.4	10.1	70.9

		A	B	C	D	E	F	M	Mx	V	Sattel	Keil	Summe
Winter	H:fors . .	4.3	9.5	18.6	14.3	14.8	**23.6**	2.2	6.2	0.6	3.0	1.7	98.8
	Kuopio . .	3.1	9.9	18.7	12.5	13.4	**24.4**	4.1	5.9	—	—	—	92.0
Sommer	H:fors . .	6.6	1.2	21.0	**25.1**	18.7	5.4	5.7	6.6	1.2	3.6	1.5	96.6
	Kuopio . .	3.9	0.8	23.7	**24.1**	17.0	5.2	5.8	6.1	—	—	—	86.6

Es wurden sowohl die Ablenkungswinkel, die Windstärke, Temperatur, Feuchtigkeit, Bewölkung und Niederschlag in

den verschiedenen Gebieten der Zyklone und Antizyklone und für alle 8 Gradientenrichtungen bestimmt. Wegen Störungen kann man jedoch dem Gradientenmittel für die einzelnen Gebiete *B*, *C*, *D*, *E* und *F* kein grösseres Vertrauen schenken, weshalb wir nur Mittelwerte der 2 Gruppen $B + C + D$ (Zyklone) und $E + F$ (Antizyklone) hier nebst dem allgemeinen Mittel für $B + C + D + E + F$ anführen. Diese Mittel sind im allgemeinen (wie auch bei H i l d e b r a n d s s o n u. a.) ohne Rücksicht auf die Zahl der Fälle gebildet. Die Gruppe *B* konnte jedoch im Sommer wegen der sehr seltenen Fälle gar nicht berücksichtigt werden. In einzelnen Fällen, wo gewisse Mittel (meistens im Gebiete *F*) wegen ungenügender Beobachtungen sehr abweichend waren, wurde jedoch Rücksicht auf die Zahl dieser Beobachtungen genommen.

Die beiden letzten Übersichtstabellen geben u. a. deutlich an, dass die Luftdruckverteilung in Helsingfors und Kuopio gleichartig ist und dass also beide Orte gut zusammen behandelt werden können. Die NW-Gradienten sind die häufigsten, diejenigen gegen S die seltensten. Jene sind im Winter 4-mal so häufig als diese. Im Sommer ist die Verteilung gleichmässiger, in dem bei antizyklonalen Verhältnissen (*E* und *F*) Gradienten gegen SE, d. h. Maxima in NW die häufigsten, Maxima in *E* die seltensten sind.

Von den 902 behandelten Winter-Tagen sind in betreff Helsingfors nur 11, (= 1 %) in Kuopio aber, wo keine sekundären Typen untersucht wurden, 72 (= 8 %) Tage ausgeschlossen, von 920 Sommertagen wiederum 31, bezw. 123 Tage (3 bzw. 13 %). Wegen der Wahl der Grenzen der Gebiete fällt im Winter ein grosser Anteil (24 %) der Fälle auf das Gebiet *F*, im Sommer dagegen nur 5 %, auf *B* nur 1 %. Im Sommer können verlässliche Gradientenmittel nur für die 3 Gebiete *C*, *D* und *E*, ausnahmeweise auch für *F* gebildet werden.

In den Tabellen 7 und 8 sind zunächst die ermittelten Ablenkungswinkel zusammengestellt.

Ablenkungswinkel.

Tab. 7. Winter.

		N	NW	W	SW	S	SE	E	NE	
B + C + D	H	60	68	**69**	31*	41	55	48	56	53
	K	48	50	54	42*	42*	52	61	**70**	52
E + F	H	**76**	63	49	40*	43	49	64	52	54
	K	34	41	48	34*	44	45	48	**65**	45
Mittel	H	**67**	66	61	35*	42	52	54	54	54
	K	42	46	51	39*	43	49	55	**68**	49
H — K		25	20	10	—4	—1	3	—1	—14	5

Tab. 8. Sommer.

		N	NW	W	SW	S	SE	E	NE	
C + D . . .	H	64	**74**	56	44*	63	64	65	64	62
	K	56	56	62	39*	52	56	**66**	**66**	57
E + F . . .	H	54	62	75*	39	37*	52	60	71	56
	K	48	42	46	45	35*	60	**64**	63	50
Mittel . . .	H	60	**68**	65	42*	50	58	62	**68**	59
	K	52	49	54	42*	43	58	**65**	64	53
H — K		8	19	11	0	7	0	—3	4	6

Bildet man die Mittel von den Winter- und Sommerwerten, so kann man diese vorläufig als Ausdruck für das ganze Jahr betrachten. Mit denjenigen für andere Orte zusammengestellt werden diese:

	N	NW	W	SW	S	SE	E	NE	Mittel
Helsingfors	64	**67**	63	38*	46	55	58	61	56
Kuopio	47	48	52	40*	43	54	60	**66**	51
Thorshavn [1]) . . .	79	81	74	71*	76	79	**90**	**90**	80
Schwed.Leuchtt[1])	64	71	61*	61	66	74	**77**	67	68
Zentraleuropa [2]) .	**56**	48	45	43	34	33*	50	51	44
Kiew u. O-Gyalla [2])	54	40*	42	53	54	48	50	**59**	50
S. Louis [3])	32	23*	**46**	40	24	25*	32	**44**	33

Beide Orte haben also die kleinsten Ablenkungswinkel bei SW-Gradienten, also etwa bei E-Winden, die grössten wiederum in Helsingfors bei NW-, in Kuopio bei NE-Gradienten. Diese Ergebnisse stimmen am besten mit denjenigen für den Nordatlantischen Ozean (nach Beobachtungen in Thorshavn) erhaltenen überein und müssen somit als ziemlich normal und ungestört betrachtet werden. Die SW- bis E-Gradienten geben an den beiden finnischen Orten ziemlich gut übereinstimmende Ablenkungswinkel an, aber bei N- bis W-Gradienten ist die Ablenkung in Helsingfors 10 bis 25° grösser als in Kuopio. Die Ursache hierzu ist, dass die SW—SE-Winde in Helsingfors Seewinde mit geringerer Reibung sind. Diese Winde haben darum auch beinahe dieselbe Ablenkung wie auf den schwedischen Leuchttürmen, die übrigen Winde haben beträchtlich kleinere.

Der für Helsingfors gefundene mittlere Ablenkungswinkel (56°) stimmt am besten mit dem von Mohn [4]) für Norwegen abgeleiteten Wert 56 % überein. Für Kiew fand man einen 2° kleineren Wert, 54°; für Uppsala 2° kleineren als in Kuopio.

---

[1]) H. Hildebrandsson et L. Teiss. de Bort. Les bases de la Meteorologie dynamique. Tome II S. 22.

[2]) J. v. Hann, Lehrbuch der Meteorol. III Aufl. S. 513 u. 514.

[3]) Meteorol. Zeitschr. 1903 S. 310.

[4]) Om Tordenveir i Norge i 1868. (Videnskabs-Selsk. Forh. 1869).

Die Änderung der Ablenkungswinkel mit dem Luftdruck zeigt die folgende:

Tab. 9. Ablenkungswinkel.

	Helsingfors					Kuopio.				
	B	C	D	E	F	B	C	D	E	F
Winter .	55	52	53	56	53	51	54	51	43	47
Sommer	—	68	57	58	55	—	55	59	52	46
Mittel . .	(55)	60	55	57	54	(51)	54	55	46	46
	57			56		54			46	

Von Störungen abgesehen kann man jedoch bemerken, dass der Winkel mit zunehmendem Luftdruck schwach abnimmt, was man auch meistens früher gefunden hat. Auch geht aus den obigen Zahlen hervor, dass der Ablenkungswinkel im Winter 4—5° kleiner als im Sommer ist. Der Luftaustausch im Sommer zwischen unteren und höheren Schichten wird als Ursache hierzu angesehen.

Die Tabellen 10 und 11 geben die Windstärke in Abweichungen von dem allgemeinen Mittel zu der betreffenden Zeit an. Zu Helsingfors sind die Werte in m pro sek. nach der alten hohen Skala N o r d e n s k i ö l ds, zu Kuopio wiederum in Beaufort angegeben.

Tab. 10. Windstärke.

		N	NW	W	SW	S	SE	E	NE	Mitt.
		Winter, Mittel H = 7.6 m/sek. K = 3.1 B.								
B + C + D	H	2.3	**3.4**	1.6*	3.1	**3.4**	3.3	0.8*	1.9	2.6
	K	0.7	0.7	1.4	0.2*	0.5	1.7	**1.8**	1.1	1.0
E + F . . .	H	—2.0*	—1.0	—1.1	0.2	—0.4	**0.9**	—1.4	—0.8	—0.7
	K	—0.8*	—0.4	—0.2	— 0.2	0.6	**1.4**	0.6	—0.5	0.0
Mittel. . . .	H	0.2	1.2	0.2	1.6	1.5	**2.1**	—0.3*	0.6	1.0
	K	0.0*	0.2	0.6	0.0*	0.6	**1.6**	1.2	0.3	0.5

Tab. 11. Windstärke.

		N	NW	W	SW	S	SE	E	NE	Mitt.
		Sommer, Mittel H = 5.8 m/sek. K = 2.9 B								
C + D . . .	H	0.8	1.3	0.5	2.2	1.8	**2.6**	0.4*	1.2	1.4
	K	—0.2	— 0.2	—0.2	0.5	1.8	1.1	**2.0**	0.6	0.7
E + F. . . .	H	—0.8	—2.0*	—1.0	**1.0**	—0.2	—0.2	—0.5	—1.2	—0.6
	K	—0.7	—0.9	—1.8	0.1	0.7	**1.2**	0.3	0.4	—0.1
Mittel	H	0.0	—0.4*	—0.2	**1.6**	0.8	1.2	0.0	0.0	0.4
	K	—0.4	—0.6	—1.0*	0.3	**1.2**	1.2	1.2	0.5	0.3

Als Mittel der beiden Orte und der beiden Jahreszeiten bekommen wir:

	N	NW	W	SW	S	SE	E	NE	Mitt.
Winter . . .	0.1*	0.7	0.4	0.8	1.0	**1.8**	0.4	0·4	0.7
Sommer . .	—0.2	—0.5	—0.6*	1.0	1.0	**1.2**	0.6	0.2	0.3
Mittel . . .	—0.0	0.1	—0.1*	0.9	1.0	**1.5**	0.5	0.3	0.5

Obwohl die Abhängigkeit der Windstärke von den Gradienten hiernach noch sehr unregelmässig und unbestimmt ausfällt, geht jedoch ziemlich sicher hervor, dass die S- bis E-Gradienten die grössten, die N- bis W-Gradienten die kleinsten Stärken mitbringen. Diese Ergebnisse sind denjenigen für Amerika ähnlich, denn auch da hat man gefunden, dass die grösste Windstärke auf der Rückseite, die kleinste auf der Vorderseite anzutreffen ist. Auch für Wäderöbod und Sandön in Schweden hat H i l d e b r a n d s s o n die kleinste Stärke bei W-Gradienten, die grösste aber bei N-Gradienten gefunden, bei SE-Gradienten aber beinahe gleich grosse. Vielleicht hängt die grössere Stärke der N-Winde damit zusammen, dass diese Winde oft absteigend sind.

Die Windstärkeabweichungen in den verschiedenen Druckzonen sind wiederum:

Tab. 12. Windstärke.

		A	B	C	D	E	F	V-Form	Sattel	Keil	M	Mx
Winter	H	—1.5	3.7	2.0	2.1	0.3	—1.7	—3.0	—3.9	—4.1	—3.7	—4.9
	K	—0.7	1.6	0.9	0.4	0.2	—0.1	—	—	—	—1.0	—2.1
Sommer	H	—1.3	—	2.1	0.6	0.0	—1.2	—0.6	—1.8	—2.9	—1.5	—2.7
	K	—1.1	—	1.0	0.4	0.3	—0.5	—	—	—	—1.1	—1.0
Mittel .	H	—1.4	(3.7)	2.0	1.4	0.2	—1.4	—1.8	—2.8	—3.5	—2.6	—3.8
	K	—0.9	(1.6)	1.0	0.4	0.2	—0.3	—	—	—	—1.0	—1.6
	H + K	—1.2	(2.6)	1.5	0.9	0.2	—0.8	—1.8	—2.8	—3.5	—1.8	—2.7

Die Windstärke ist also am kleinsten in dem zentralen Teil der Antizyklone, ebenso unter dem Mittel in allen sekundären Gebilden und im Zentrum der Depression, am grössten in der Zone *B* und von da aus stetig abnehmend mit zunehmendem Luftdruck.

Tab. 13—14. Temperatur.

		N	NW	W	SW	S	SE	E	NE	Mittel
Winter, Mittel H = —6.3 K = —9.9.										
B + C + D	H	**6.0**	5.7	3.2	0.2	—4.1	—6.5*	—1.2	3.4	0.9
	K	**5.9**	5.7	1.3	—0.8	—0.2	—4.5*	— 0.3	4.8	1.5
E + F . . .	H	1.2	1.9	0.0	—2.0	—6.3*	—3.4	—3.6	**3.2**	—1.0
	K	**1.2**	0.8	—0.6	—2.0	—6.6*	—3.0	—2.4	1.0	—1.3
Mittel . . .	H	**4.5**	4.2	2.0	— 0.7	—5.0	—5.3*	—2.2	3.3	0.1
	K	**4.5**	3.7	0.6	—1.3	—2.7	—3.9*	—1.1	3.3	0.4
H — K		0.0	0.5	1.4	0.6	—2.3	—1.4	—1.1	0.0	— 0.3
Sommer, Mittel H = 15.0 K = 13.8.										
C + D . . .	H	—0.8	0.7	**1.7**	0.6	—1.0	—1.7*	—1.6	—1.5	—0.4
	K	0.1	**1.8**	1.4	0.6	—1.1	—2.4	—3.1*	—1.8	—0.6
E + F . . .	H	0.6	2.2	**3.4**	3.2	1.9	0.6	0.2	—1.4*	1.4
	K	**2.8**	**2.8**	0.8	0.0	—2.8	—3.3*	—1.0	—1.0	0.3
Mittel	H	—0.1	1.4	**2.5**	1.9	0.4	—0.6	—0.7	—1.4*	0.5
	K	1.5	**2.3**	1.1	0.3	0.1	—2.8*	—2.0	—1.4	—0.2
H — K		—1.6	—0.9	1.4	1.6	0.3	2.2	1.3	0.0	0.7

Die Ergebnisse in Betreff der Temperatur sind ziemlich ausgesprochen, obwohl auch hier noch Störungen zu finden sind. Im Winter sind die N-Gradienten (also SW-Winde) die wärmsten, in der Zyklone die SE-Gradienten oder N-Winde, in der Antizyklone die S-Gradienten oder NE-Winde die kältesten. Im Sommer sind einige Verschiebungen der wärmsten und kältesten Gradienten zu bemerken. Helsingfors hat bei dem W-Gradient (d. h. SE-Wind) und Kuopio bei dem NW-Gradient (d. h. S-Wind) das Maximum, das Minimum wiederum etwas unbestimmt zwischen SE und NE (N- bis W-Winde). Diese Eigenschaften der Gradienten stimmen etwa überein mit denjenigen, die Hildebrandsson für Uppsala, Åkerblom für Thorshavn u. s. w. gefunden haben, sind also normal für N-Europa. Das Mittel von Helsingfors und Kuopio sei hier mit dem entsprechenden für Uppsala verglichen:

	N	NW	W	SW	S	SE	E	NE	Mittel
					Winter				
Finland	**4.5**	4.0	1.3	—1.0	—3.8	—4.6*	—1.6	3.3	0.2
Uppsala	**2.9**	2.6	2.2	0.6	—0.8	—1.2	—4.4*	—1.0	0.1
					Sommer				
Finland	0.7	**1.8**	1.8	1.1	0.2	—1.7*	—1.4	—1.4	0.2
Uppsala	0.7	1.2	0.9	**1.3**	0.2	—2.3*	—2.3	—1.6	— 0.2

Die beträchtlichsten Unterschiede finden wir im Winter bei NE-Gradienten, welche in Finland mehr als 3° zu warm, in Uppsala aber 1° zu kalt sind. Da die Winde hierbei westlich sind und die Abweichungen in Kuopio gleich gross wie in Helsingfors sind, scheint diese Eigenschaft nicht durch die Meere hervorgerufen zu sein. Vielleicht ist die Wärme dieser W-Winde als dynamisch aufzufassen, wogegen in Uppsala noch indirekte Ausstrahlungswirkungen bei diesen Winden hervortreten. Den Einfluss des Finnischen Meerbusens in den Zahlen für Helsingfors findet man z. B. durch

Vergleich der NW- und SE-Gradienten in Helsingfors und Kuopio.

Die Änderung der Temperatur mit dem Luftdruck ist aus folgender Zusammenstellung ersichtlich:

Tab. 15. Temperatur.

		A	B	C	D	E	F	V-Form	Sattel	Keil	M	Mx
Winter	H	1.8	1.6	0.3	0.7	0.8	—2.7	—4.4	—4.4	—8.6	—7.0	—4.9
	K	3.4	3.0	0.7	0.8	0.3	—2.9	—	—	—	—5.0	—5.3
Sommer	H	—1.1	—	—0.8	0.1	0.5	2.2	0.4	—1.4	1.2	—0.3	1.2
	K	0.1	—	—0.6	—0.6	—0.1	0.7	—	—	—	0.0	1.4
Mittel H + K		2.6	2.3	0.5	0.8	0.6	—2.8	—4.4	—4.4	—8.6	—6.0	—5.1
		—0.5	—	—0.7	—0.2	0.2	1.4	0.4	—1.4	1.2	—0.2	1.3

Im Winter nimmt also die Temperatur von dem Zentrum der Zyklone (A) zu dem Zentrum der Antizyklone (Mx) stetig ab. Die kältesten Luftdruckgebilde sind jedoch, wie früher[1]) eingehend gezeigt ist, die Keile und Rücken oder die neutrale Lage zwischen zwei Zyklonen, und zwar sind diese 2 bis 4° kälter als das Zentrum der Antizyklone. Im Sommer ist die Temperatur umgekehrt von A zu F (und Mx) zunehmend, wobei jedoch diese Zunahme in Kuopio schwach und unregelmässig ist. Der Keil ist warm, wie das Maximum, die Sattel kühl wie das Minimum, die V-Depression und die neutrale Lage M zeigen sich etwa normal.

Die Feuchtigkeit konnte für Kuopio im Winter nicht untersucht werden, weil die Beobachtungen wegen des Versagens des Psychrometers bei niedrigen Temperaturen unvollständig waren. Über die absolute Feuchtigkeit kann man im allgemeinen sagen, dass dieselbe desto grösser ist, je höher die Temperatur ist. Im Sommer ist jedoch die Abhängigkeit von dem Luftdruck sehr undeutlich und geben die Zahlen für Kuopio (A bis F) an, dass der Dampfdruck mit steigendem Luftdruck ähnlich wie im Winter abnehmen würde. Der Einfluss der Bewölkung auf die Temperatur

[1]) Acta Societ. Scient. Fenn. Tome 44 N:o 1, 1913 und Öfversigt af Finska Vet. Soc. Förh. Bd. 55 N:o 17, 1914.

Tab. 16—17. Absolute Feuchtigkeit.

		N	NW	W	SW	S	SE	E	NE	Mittel
		Helsingfors, Winter, Mitte 2.9 mm.								
B + C + D . . .		**1.3**	**1.3**	0.9	—0.5	—1.0	—1.3*	—0.5	0.7	0.2
E + F		0.4	0.4	—0.2	—0.6	—1.2*	—1.0	—0.9	**0.6**	—0.3
Mittel		**1.0**	**1.0**	0.5	—0.3	—1.0	—1.2*	—0.6	0.7	0.0
		Sommer, Mittel H = 9.8 K = 8.8 mm.								
C + D . . .	H	0.2	1.4	**1.7**	0.0	—0.6	—1.2	—0.8	—1.2*	0.0
	K	0.4	**2.0**	1.6	1.2	—0.9	—1.4	—1.7*	—1.2	0.0
E + F . . .	H	0.4	**2.0**	0.8	0.6	0.4	—1.0	—1.0	—1.6*	0.1
	K	1.2	1.0	0.4	—0.4	—0.3	—2.0	—1.6	—1.2	—0.4
Mittel . . .	H	0.3	**1.7**	1.2	0.3	—0.1	—1.1	—0.9	—1.4*	0.0
	K	0.9	**1.5**	1.0	0.4	—0.6	—1.7*	—1.6	—1.2	—0.2

Tab. 18.

		A	B	C	D	E	F	V-Form	Sattel	Kei	M	Mx
Winter .	H	0.4	0.4	0.0	0.1	0.0	—0.6	0.1	—0.7	—1.5	—1.1	—0.9
Sommer	H	0.1	—	0.0	0.0	—0.2	0.4	1.1	—0.7	—0.3	—0.2	—0.3
	K	1.4	—	0.2	—0.2	—0.3	—0.5	—	—	—	0.1	0.1

kommt also nicht in dem Dampfdrucke im Sommer zur Geltung.

Im allgemeinen sehen wir, dass auch die relative Feuchtigkeit in Betreff der Gradientrichtung mit der Temperatur Ähnlichkeit aufweist. Die NW-Gradienten oder S-Winde sind die feuchtesten, die E-Gradienten mit NW-Winden die trockensten. In beiden Jahreszeiten und besonders stark im Sommer nimmt die Feuchtigkeit mit steigendem Luftdruck ab. Die sekundären V-Depressionen sind etwa ebenso feucht wie die Hauptdepressionen (*A*), die Keile im Sommer ebenso trocken wie die Antizyklonen (*Mx*). Es ist also der Einfluss der relativen Feuchtigkeit auf den Dampfdruck, welcher denjenigen der Temperatur überragt.

Tab. 19—21. Relative Feuchtigkeit.

Gradient		N	NW	W	SW	S	SE	E	NE	Mitt.
					Helsingfors, Winter, (Mittel 89.6)					
B + C + D . .		2.2	**4.0**	1.9	1.6	—3.0	—4.9	—4.9*	—2.1	—0.7
E + F		**2.6**	2.2	—0.2	—1.4	—2.8	—5.7	—5.9*	1.2	—1.2
Mittel		2.4	**3.3**	1.0	0.4	—2.9	—5.2	—5.5*	—0.8	—0.9
					Sommer, (Mittel H = 77.1 K = 75.3)					
C + D	H . .	4.5	**7.7**	5.7	3.6	0.4	—0.6*	0.8	—0.8	2.6
	K . .	2.6	**6.6**	4.4	5.6	—3.2	—2.4	—2.5	—3.6*	1.0
E + F	H . .	0.8	**4.0**	—9.7	—11.0	—8.6	—9.6	—10.4*	—5.9	—6.3
	K . .	—3.6	—5.6	**—2.2**	—5.7	—8.4	—4.4	—11.4*	—6.8	—5.9
Mittel	H . .	2.7	**5.8**	—2.0	—3.7	—4.0	—5.1*	—4.8	—3.4	—1.8
	K . .	—0.5	0.5	**1.6**	—0 1	—5.8	—3.4	—6.9*	—5.2	—2.5

		A	B	C	D	E	F	V-Form	Sattel	Keil	M	Mx
Winter	H .	3.8	0.1	—1.0	—1.1	—1.4	—1.1	4.6	—0.1	—1.4	—1.5	1.3
Sommer	H .	7.8	—	3.9	1.4	—5.4	—7.2	5.4	—1.1	—7.8	0.3	—7.7
	K .	9.1	—	2.4	—0.5	—3.3	—8.5	—	—	—	—1.8	—7.4

Verglichen mit St. Louis in N-Amerika[1]) und mit Swinemünde stellen sich die Verhältnisse in Helsingfors folgendermassen:

	N	NW	W	SW	S	SE	E	NE	
					Winter				
Helsingfors . . .	92	**93**	91	90	87	84	84*	89	89
Swinemünde . .	91	**92**	**92**	88	89	86	80*	90	90
St. Louis	76*	80	80	85	**89***	88	84	79	81
					Sommer				
Helsingfors . . .	80	**83**	75	73	73	72*	72	74	75
Swinemünde . .	78	76	76*	76	**84**	82	79	80	78

[1]) Meteorol. Zeitschr. 1903 S. 309.

Im Winter stimmen die Eigenschaften der Gradienten in Helsingfors und Swinemünde überein, woraus hervorzugehen scheint, dass das Meer keinen Einfluss auf die relative Feuchtigkeit hat. Im Sommer ist dagegen die Verteilung der Feuchtigkeit in der Umgebung der Zyklone und Antizyklone ziemlich entgegengesetzt in Helsingfors und Swinemünde, die Landwinde überhaupt trocken, die Seewinde feucht. Die Verhältnisse in St. Louis im Winter weichen beträchtlich von den übrigen Orten ab, die S-Gradienten mit NE-Winden sind die feuchtesten, die N-Gradienten mit SW-Winden die trockensten.

Tab. 22—23. Bewölkung in %.

		N	NW	W	SW	S	SE	E	NE	Mittel
		Winter, Mittel H = 81 K = 79								
B + C + D	H	9	15	**17**	16	7	—6	—17*	—16	3
	K	—3	15	**21**	8	13	—19	—17	—15	0
E + F . .	H	—2	**10**	8	—6	1	—4	—48*	—12	—8
	K	—1	8	16	14	—10	—25	—32	—17	—6
Mittel . .	H	5	**13**	**13**	7	5	—5	—29*	—14	—1
	K	—2	12	**19**	11	4	—21	—23*	—16	—2
		Sommer, Mittel H = 55 K = 56								
C + D . .	H	3	16	14	**17**	10	14	8	—3*	10
	K	6	15	14	16	0*	**20**	15	1	11
E + F . .	H	—8	—16	—29	—20	—30	—24	—28	—32*	—24
	K	—26	—15	4	9	—28	**12**	—28	—32*	—12
Mittel . .	H	—3	**0**	—8	—2	—10	—5	—10	—17*	—7
	K	—10	0	9	12	—14	**16**	—7	—15*	—1

Im Winter ist also der Einfluss der Gradienten sehr stark, die W-Gradienten (SE-Winde) 42 % trüber als diejenigen gegen E (NW-Winde). Im Sommer ist das Minimum zu NE (W-Winde) verschoben, das Maximum wiederum sehr un-

bestimmt. Vergleiche mit anderen Orten gestattet folgende Zusammenstellung[1]):

	N	NW	W	SW	S	SE	E	NE	Mittel
				Winter					
Finland	82	92	**96**	88	84	67	54*	65	78
Swinemünde . .	88	93	80	88	**100**	90	85	78*	86
Wien	74	72	88	**95**	91	91	80	66*	82
St. Louis	68*	71	77	93	95	**97**	93	73	81
				Sommer					
Finland	50	56	56	61	44	**62**	48	40*	52
Swinemünde . .	78	76*	63	55	88	**90**	83	83	77
Wien	36	34*	47	69	77	**85**	66	68	60
				Jahr					
Finland	66	74	**76**	74	64	64	51*	52	65
Uppsala	62	79	86	92	92	**92**	60	36*	75
Thorshavn . . .	76	80	86	88	**93**	79	74	64*	80
Petersburg . . .	74	86	88	88	**92**	82	60*	72	80

Im Winter und im Jahresmittel stimmen die meisten Orte darin überein, dass die E- oder NE-Gradienten, d. h. NW- oder W-Winde die heitersten sind, offenbar weil diese Winde am häufigsten absteigend sind. Auch sind im allgemeinen die S- bis W-Gradienten die trübsten, wobei die Winde aus der E-Seite wehen. Entschiedene Ausnahmen bilden Wien und Swinemünde im Sommer, da NW-Gradienten mit S-Winden die heitersten, SE-Gradienten mit N-Winden die trübsten sind. Die Ostsee bei Swinemünde und die Alpen bei Wien bedingen offenbar diese Abweichungen.

In den verschiedenen Gebieten der Zyklone und Antizyklone gestalten sich die Abweichungen der Bewölkung folgendermassen:

[1]) Uppsala, Swinemünde, Wien, Thorshavn und Petersburg nach Les bases de la Météor. dyn. II S. 128.

Tab. 24. Bewölkung.

		A	B	C	D	E	F	V-Form	Sattel	Keil	M	Mx
Winter	H	17	8	3	−2	− 1	−16	19	−4	−37	−26	− 7
	K	21	9	− 1	−7	1	−12	—	—	—	− 7	− 6
Sommer	H	−24	—	14	6	−14	−33	23	7	−31	− 2	−28
	K	29	—	18	4	− 9	−16	—	—	—	− 5	−40
Mittel	H	− 4	(8)	8	2	− 8	−24	21	2	−34	−14	−18
	K	24	(9)	8	−2	− 4	−14	—	—	—	− 6	−23

Die bekannte Tatsache, dass die Bewölkung mit steigendem Luftdruck abnimmt, tritt hier deutlich hervor. Jedoch zeigt sich das Zentrum der Zyklone (*A*) in Helsingfors (das Auge der Zyklone) als sehr heiter. Die Keile und im Winter die Rücken zwischen zwei Minima sind sehr heiter und darum im Winter sehr kalt. Offenbar ist die Luft hier in höheren Schichten durch absteigende Luftströme sehr diaterman [1]). Die sekundären *V*-Depressionen zeichnen sich wiederum durch die grösste Trübung aus.

Um die Niederschlagsverhältnisse in der Umgebung der Zyklone und Antizyklone zu untersuchen, sind die Tage mit einem messbaren Niederschlag in 24 Stunden nach dem Morgen, für welche die Luftdruckverteilung bestimmt wurde, berücksichtigt. Die Ergebnisse beanspruchen somit vornehmlich für prognostische Zwecke ein grösseres Interesse.

Die Zahl der Niederschlagstage nach der betreffenden Drucklage wird in folgender Tabelle angegeben.

[1]) Vgl. Osc. V. Johansson. Acta Societatis Scient. Fenn. T. 44, N:o 1 und Öfversigt af Finska Vetenskaps-Soc. Förh. LV A, N:o 17.

Die Zahl der Tage mit messbaren Niederschlag in den folgenden 24 Stunden war:

Tab. 25—26. Niederschlagstage, ≥ 0,1 mm,

Gradient		N	NW	W	SW	S	SE	E	NE	Summe
					Winter					
B + C + D	H	32	**84**	49	31	18	12*	19	28	273
	K	23	**86**	35	30	14	5*	10	26	229
E + F. . .	H	16	**51**	38	48	13	4	3*	11	184
	K	19	**53**	32	22	9	6*	7	16	164
Mittel . . .	H	48	**135**	87	79	31	16*	22	39	447
	K	42	**139**	67	52	23	11*	17	42	393
					Sommer					
B + C + D	H	37	**68**	30	21	20*	20*	26	27	249
	K	34	**61**	36	37	11*	12	17	35	243
E + F. . .	H	11	4	6	3*	6	8	7	**14**	59
	K	4*	11	4*	5	5	**16**	7	4*	56
Mittel . . .	H	48	**72**	36	24*	26	28	33	41	308
	K	38	**72**	40	42	16*	28	24	39	299

Die meisten Niederschlagstage (etwa $^1/_3$ im Winter) folgen also nach NW-Gradienten und die seltensten nach SE-Gradienten im Winter, S- oder SW-Gradienten im Sommer. Für die antizyklonalen Gebiete im Sommer sind jedoch die Ergebnisse teils durch die geringe Zahl der Fälle, teils aus natürlichen Gründen unsicher.

Die Zahlen hängen natürlich noch viel von der allgemeinen Häufigkeit der entsprechenden Gradienten ab, wie diese durch die Tabellen 1—6 angegeben sind. Bildet man die Verhältniszahlen, so bekommt man aber die Wahrscheinlichkeit für einen Niederschlagstag, welche in der folgenden Tabelle angegeben ist.

Die Wahrscheinlichkeit für einen messbaren Niederschlag in den nächsten 24 Stunden (in %) war:

Tab. 27—28. Wahrscheinlichkeit für Niederschlagstage.

		N	NW	W	SW	S	SE	E	NE	Mittel
						Winter				
B + C + D	H	68	89	**92**	86	69	46	45*	47	71
	K	59	80	**81**	75	58	19*	31	44	62
E + F . . .	H	40	73	78	68	**81**	12*	14	24	53
	K	33	**63**	59	55	43	25*	37	37	48
Mittel . . .	H	55	82	**85**	74	74	27*	35	37	63
	K	43	**73**	69	65	51	22*	33	41	55
	H-K	12	9	16	9	23	5	2	—4	8
						Sommer				
B + C + D	H	44*	62	61	**66**	55	44*	58	48	55
	K	60	57	**73**	65	30	27*	45	52	54
E + F . . .	H	39	21	35	15	25	19	19	**40**	26
	K	18	**42**	36	22	[illegible]	26	23	15*	25
Mittel . . .	H	42	**56**	55	46	45	32*	41	45	45
	K	48	59	**67**	52	28	26*	35	42	45
	H-K	—6	—3	—12	—6	15	6	6	3	0

Die Abhängigkeit der Niederschlagswahrscheinlichkeit von der Gradientrichtung ist also im allgemeinen ziemlich regelmässig und gleichartig an den beiden Orten und in den beiden Jahreszeiten. Im allgemeinen haben NW- und W-Gradienten die grösste, SE-Gradienten die kleinste Wahrscheinlichkeit für Niederschlag. Besonders für Kuopio sieht man deutlich, dass die grösste Regenhäufigkeit in zyklonalen Gebieten mehr den W-, in antizyklonalen mehr den NW-Gradienten eigen ist. Die Zahlen für $E + F$ sind im Sommer noch sehr unregelmässig, mehr in Helsingfors als in Kuopio. Überhaupt besteht Übereinstimmung zwischen relativer Feuchtigkeit, Bewölkung und Niederschlagshäufigkeit. Die Minima für den Niederschlag treten jedoch bei mehr südlichen Gradienten als für Feuchtigkeit und Bewölkung ein.

Da die Ergebnisse für Helsingfors und Kuopio gut übereinstimmen, scheint hervorzugehen, dass der Einfluss des Finnischen Meerbusens und der Ostsee verhältnismässig klein ist. Aber die oben angeführten Unterschiede H—K bezeugen doch, dass vornehmlich die Gradienten gegen W und E sich verschieden verhalten. Jene sind in Helsingfors verhältnismässig regenreich im Winter, trocken im Sommer, diese im allgemeinen wenig verschieden. Hierdurch wäre bezeugt, dass die vordere Seite der Zyklone mit Winden von der E-Seite im Winter regenreicher, im Sommer regenärmer durch die Nähe der Ostsee wird. Das Meer befördert mit anderen Worten durch die Winterwärme die Zyklonen, durch Kühle im Sommer wiederum sekundäre Antizyklonen.

Nimmt man die Mittel für die beiden Orte und vergleicht diese mit entsprechenden Ergebnissen für andere Orte, so erhält man folgende Übersicht:

Gradient	N	NW	W	SW	S	SE	E	NE
Finland {Winter + Sommer}	47	68	**69**	60	49	26*	36	42
Väderöbod	16	36	**51**	27	30	22	7*	7*
Thorshavn	85	**90**	80	76	82	77	73*	80
Uppsala, (B—D) . .	27	49	60	64	**73**	67	39	15*
Swinemünde (Cükl.) (nächste 24 St.) .	66	68	62	62	**78**	60	54*	54*
Wien (C—E)	53	34*	44	57	61	70	**77**	62
Kiew (Zon I—II) . .	76	68	64*	67	83	82	**90**	76
St. Louis, Winter .	56	38	34*	57	45	53	**76**	51

Wie man sieht, stimmen die Ergebnisse in Finland am besten mit denjenigen für den Leuchtturm Väderöbod ausserhalb der schwedischen W-Küste und für Thorshavn überein. Wie auch v. Hann hervorhebt, dürfte Thorshavn normale Verhältnisse aufweisen, und somit wären auch die Ergebnisse für Finland als normal anzusehen. Die Binnenlandstationen

Wien, Kiew und St. Louis haben wiederum entgegengesetzte Eigenschaften der Gradienten, die grösste Regenwahrscheinlichkeit auf der W-Seite, die kleinste auf der E-Seite der Zyklone. Uppsala und Swinemünde bilden wiederum eine dritte Gruppe, die, übereinstimmend mit der ersten normalen, kleine Niederschlagswahrscheinlichkeit auf der W-Seite, die grösste aber auf der N-Seite der Zyklonen aufweist. Wir kommen noch zu diesen Ergebnissen zurück.

Der Einfluss des Luftdrucks auf die Wahrscheinlichkeit für Niederschlag kommt in folgenden Zahlen zum Ausdruck:

Tab. 29. Niederschlagswahrscheinlichkeit.

		A	B	C	D	E	F	Mx	M
Winter	H. . . .	77	**80**	70	67	65	46	20*	55
	K. . . .	**82**	73	58	58	59	48	23*	49
Mittel		**80**	76	64	62	62	47	22*	52
Sommer	H. . . .	**75**	64	68	43	30	16*	20	54
	K. . . .	69	**100**	65	42	29	12	5*	47
Mittel		72	**82**	66	42	30	14	12*	50
Allg. Mittel		76	**79**	65	52	46	30	17*	51

Die Wahrscheinlichkeit nimmt also mit steigendem Luftdruck ab. Diese Abnahme ist jedoch im Winter viel schwächer als im Sommer (in Kuopio von *C* bis *D* gar nicht zu bemerken), so dass bei hohem Luftdruck die Niederschläge im Winter 2—3-mal häufiger als im Sommer werden. Die inneren Teilen der Zyklone ($A + B$) sind im Winter 2—3, im Sommer aber in Helsingfors beinahe 4 und in Kuopio 10-mal so niederschlagsreich wie die inneren Teile der Antizyklone ($F + Mx$). Die Rückenbildung *M* zwischen zwei Minima hat die Niederschlagswahrscheinlichkeit etwa 50, im Winter also ungefähr in derselben Grösse wie in Antizyklonen zwischen *E* und *F*, also etwa bei dem Luftdruck 765, aber im Sommer ähnlich wie in Zyklonen bei dem Barometerstand 755 mm. Die *V*-Depressionen haben in Helsingfors die grösste Niederschlagswahrscheinlichkeit, im

Winter 91, im Sommer 80 % (ähnlich wie *B*). Die Keile und Sattel sind verhältnismässig trocken, jene mit 36 im Winter, 40 % im Sommer, diese mit 30, bzw. 48 %.

Auch die Niederschlagsmenge in den folgenden 24 Stunden wurde nach der obigen Methode untersucht. Unten geben wir dieselben zunächst für jeden Gradienten in Prozenten von der Gesammtsumme bei allen Gradienten an:

Tab. 30—31. Niederschlagsmenge in %.

		N	NW	W	SW	S	SE	E	NE
		Winter							
B + C + D	H . .	9	**31**	25	17	7	3*	5	3
	K . .	9	**41**	21	16	4	1*	2	6
E + F	H . .	5	26	18	**39**	5	0*	2	4
	K . .	10	**35**	29	10	4	1*	4	7
Mittel	H . .	8	**29**	23	24	6	2*	4	3
	K . .	9	**39**	24	14	4	1*	3	6
		Sommer							
B + C + D	H . .	5*	**23**	15	20	10	9	10	9
	K . .	14	**33**	15	16	7	2*	3	9
E + F	H . .	11	15	11	**26**	16	9	4	9
	K . .	9	16	9	2*	6	**41**	15	3
Mittel	H . .	6*	**21**	14	**21**	11	9	9	9
	K . .	13	**30**	14	14	7	8	5*	8

Für den Winter weisen die Zahlenreihen übereinstimmende Eigenschaften auf mit entschiedenen Maxima von 30—40 % bei NW-Gradienten oder S-Winden, Minima bei entgegengesetzten Gradienten und Winden. Die zyklonalen Gebieten verhalten sich auch im Sommer ähnlich und das Minimum bei N-Gradienten in Helsingfors muss wohl als eine Störung betrachtet werden. Die antizyklonalen Gebiete weisen grosse Störungen auf und scheinen beide Orte ziemlich entgegensetzte Eigenschaften aufzuweisen, welches aber von der geringen Zahl der Fälle und zufälligen Regengüsse ab-

hängen dürfte. Auch mit der Wahrscheinlichkeit zeigt die Summe grosse Ähnlichkeit, obwohl diese ihr Maximum mehr in dem SE-Sektor, als jene aufweist.

Die vordere oder E-Seite der Zyklone zeigt sich hier besonders regenreich, die Rückseite im W aber sehr niederschlagsarm. Der Unterschied ist vor allem im Winter gross. Die 3 westlichen Gradienten bringen in den nächsten 24 Stunden in Helsingfors 76, in Kuopio 77 % des Niederschlags, wogegen die östlichen Gradienten auf der Rückseite nur 9, bzw. 10 % bringen. Im Sommer sind die Gegensätze weniger schroff, 56 bzw 27 % in Helsingfors, 58 bzw 21 % in Kuopio. Dass diese Unterschiede der beiden Seiten der Zyklone und Antizyklone nicht allein durch die grössere Häufigkeit der westlichen Gradienten bedingt sind, geht aus den Häufigkeitstabellen 1—6 hervor, wonach im Winter Gradienten nach

Tab. 32—33. Regenintensität der Gradienten.

(Menge in mm pro jedem Gradienten).

		N	NW	W	SW	S	SE	E	NE
					Winter				
B + C + D	H . .	1.8	3.1	**4.6**	4.5	2.6	0.9	1.1	0.5*
	K . .	1.5	2.5	**3.2**	2.6	1.0	0.1*	0.5	0.7
E + F	H . .	0.6	1.7	1.7	**2.5**	1.4	0.0*	0.3	0.4
	K . .	0.5	1.2	**1.5**	0.7	0.6	0.2*	0.5	0.5
Mittel	H . .	1.3	2.5	**3.2**	**3.2**	2.1	0.4*	0.9	0.5
	K . .	0.9	1.9	**2.3**	1.6	0.8	0.2*	0.5	0.6
					Sommer				
B + C + D	H . .	0.9*	2.3	3.4	**6.8**	2.9	2.2	2.4	1.7
	K . .	2.9	**3.8**	3.6	3.3	2.1	0.5*	1.0	1.6
E + F	H . .	0.9	1.8	1.5	**3.0**	1.6	0.5	0.2*	0.6
	K . .	0.9	1.3	**1.8**	0.2*	0.6	**1.9**	1.0	0.2*
Mittel	H . .	0.9*	2.2	2.9	**5.4**	2.4	1.4	1.5	1.3
	K . .	2.3	**3.3**	3.2	2.4	1.6	1.2	1.0*	1.2

der W-Seite in 52—51, die entgegengesetzten in 31—28 % von allen vorkommen, und im Sommer ungefähr gleich häufig in beiden Richtungen vertreten sind.

Das eigentümliche sekundäre Minimum bei den reinen W-Gradienten, welches in mehreren obigen Zahlenreihen, besonders im Sommer ersichtlich ist, sei hier noch hervorgehoben.

Wir wenden uns nun zu der Betrachtung der Regenintensität. Im allgemeinen zeigt die Intensität dieselben Eigenschaften wie die Wahrscheinlichkeit. Mehr als in übrigen Niederschlagsgrössen scheint das Maximum hier jedoch nach den SW-Gradienten oder E-Winden gedreht und ist dieses in Helsingfors viel deutlicher als in Kuopio der Fall. Der Niederschlagsreichtum der E-Winde könnte hierdurch teilweise eine Folge des Finnischen Meerbusens und Ostsee betrachtet werden.

Die Ergebnisse für die zyklonalen Gebiete $B + C + D$ seien noch mit ähnlichen für Swinemünde und Kiew verglichen.

	N	NW	W	SW	S	SE	E	NE
				Winter				
Helsingfors	1.8	3.1	**4.6**	4.5	2.6	0.9	1.1	0.5*
Kuopio	1.5	2.5	**3.2**	2.6	1.0	0.9	0.5*	0.7
Swinemünde . . .	2.3	2.2	2.1	1.6	**4.5**	2.9	1.4	1.2*
Kiew	2.8	2.3	2.5	3.9	6.7	**8.4**	4.7	1.4*
				Sommer				
Helsingfors	0.9*	2.3	3.4	**6.8**	2.9	2.2	2.4	1.7
Kuopio	2.9	**3.8**	3.6	3.3	2.1	0.5*	1.0	1.6
Swinemünde. . . .	2.6	2.8	3.4	1.9*	**7.1**	4.6	2.1	2.5
Kiew	2.6	1.6*	3.6	3.9	5.4	**10.4**	5.6	5.3

Die finnischen Orte weichen hiernach beträchtlich von den übrigen ab. Kuopio und Kiew verhalten sich besonders im Sommer ziemlich entgegengesetzt. Kiew hat die grössten Niederschläge bei SE-Gradienten also mit N-Winden, Swine-

münde bei S-Gradienten oder NE-Winden. Die Häufigkeit und die Intensität weisen im grossen und ganzen dieselben Eigenschaften auf, die niederschlagshäufigsten Gradienten sind im allgemeinen auch die ergiebigsten, die seltensten die trockensten.

Die Abhängigkeit der Intensität von dem Luftdruck gestaltet sich wiederum folgendermassen:

Tab. 34. Regenintensität.

	A	B	C	D	E	F	Mx	M	V-Depr.	Sattel	Keil
						Winter					
H. .	2.4	**3.7**	2.2	2.0	1.5	1.1	0.1*	2.2	2.8	0.9	1.8
K. .	1.8	**2.4**	1.6	1.6	0.9	0.8	0.2*	1.6	—	—	—
						Sommer					
H. .	**3.6**	2.5	3.3	1.9	1.3	0.1*	0.4	3.1	**3.9**	1.2	0.6
K. .	2.9	**3.6**	2.9	2.2	1.2	0.4	0.1*	1.5	—	—	—

Wie man erwarten könnte, nimmt die Intensität der Niederschläge mit steigendem Luftdrucke rasch ab. Jedoch weist das Zentrum der Zyklone ein wenig kleinere Niederschläge als die Zone *B* auf und im Sommer sind die *V*-Depressionen durch die grössten Niederschläge gekennzeichnet. Die Keile und Sattelformationen haben kleine, die Rückenbildungen (*M*) verhältnismässig ergiebige Niederschläge. Der Vergleich zwischen den sichersten Mitteln für *C*, *D* und *E* lehrt, dass der Einfluss des Luftdrucks auf die Intensität im Sommer grösser als im Winter ist.

Wir kehren noch zu der interessanten, längst bekannten Tatsache, dass die E-Seite der Depressionen in Finland niederschlagsreicher als die W-Seite ist, zurück. Alte Bauernregeln lehren schon, dass die E-Winde sehr niederschlagsreich sind. Durch die Beobachtungen in Laihela konnte der erste

finnische Klimabeschreiber S t i e r w a l d schon 1755 [1]) genauer feststellen, dass SE-Wind noch niederschlags reicher als E ist. Später fand L e c h e dasselbe für Åbo, das Minimum wie in Laihela mit NW-Wind. J u l i n fand in Uleåborg das Maximum bei E, das Minimum übereinstimmend bei NW-Wind. S t i e r w a l d gab als Ursache an: »die grossen Wasser im E, kondensiert gegen unsere Anhöhen und Landrücken.» K ä m t z [2]) hat eine grössere Aufmerksamkeit den Regenwindrosen für Finland und Schweden gewidmet. In anderen Teilen Europas fand er, wie schon früher andere Forscher, den grössten Regenreichtum bei Winden von der W-Seite (meistens SW) den kleinsten bei solchen von östlichen Richtungen (NE und E), also das Meer im W, das Land im E massgebend. Die Anomalie im N-Europa in Bezug auf das Minimum mit NW- und W-Winden erklärt K ä m t z folgendermassen: (III S. 440). »Wenn nämlich die vom Meere kommenden SW- und W-Winde den hohen Kamm der skandinavischen Alpen erreichen, schlägt sich das Wasser auf dem westlichen Abhange derselben nieder und eben diese Westwinde, die sich in Nordwegen durch reichlichen Regen auszeichnen, sind in Schweden und Finland ungemein trocken.» Weiter sagt er (S. 441). »Also völlig dem mittleren Europa entgegengesetzt sind hier die westlichen Winde die trockensten, die östlichen Winde die feuchtesten. Es scheint, als ab die geringere Temperatur im Innern der Kontinente Ursache der häufigen Niederschläge bei östlichen Winden sei; zum Teil mag diese Kondensation ihren Grund auch darin haben, dass die Dämpfe, die von Osten kommen, an dem östlichen Abhange der skandinavischen Gebirge niedergeschlagen werden. Zeigte uns Stockholm nur diese Anomalie, so könnte man hier eine Einwirkung der Ostsee als Ursache annehmen; dass dieses nicht der Fall sei, zeigen die Orte am östlichen Ufer dieses Binnenmeeres.»

---

[1]) Vgl. Bidrag till kännedom av Finl. natur och folk utgivna af Finska Vetenskaps-Societeten H. 76, N:o 1. Helsingfors 1913 S. 20. S t i e r w a l d hatte also vor L e c h e und L a m b e r t Regenwindrosen berechnet, aber wie l. c. hervorgehoben ist, waren schon früher ähnliche von Poleni für Padua berechnet (Philosoph. Transactions für 1731).

[2]) Lehrbuch I S. 440.

Diese Erklärungsversuche Stierwalds und Kämtz' scheinen auch wichtige Fingerzeige zu einem richtigen Verständnisse der Erscheinungen zu geben. Die drei Ursachen, die Kämtz in Betracht zieht, sind die Temperaturverhältnisse, die Ostsee und die skandinavischen Gebirge. Die erste Ursache kann jedoch kaum hier in Frage kommen, vor allem deshalb, weil der Niederschlagsreichtum der SE-Winde oder der E-Seite der Zyklone in allen Jahreszeiten vorkommt und die Kontinente in E im Sommer warm sind. Übrigens ist es keineswegs Regel, dass kalte Kontinentalwinde regenreich sind.

Besser kann man schon die Ostsee als einen Faktor hierbei heranziehen. Wie es für die älteren Auschauungen natürlich war, hat Kämtz offenbar nur die Feuchtigkeitsquelle dieses Binnenmeeres ins Auge gefasst. Für die Erklärung der niederschlagsreichen E-Winde auf der E-Seite dieser Gewässer in Finland war dieses Moment aber gar nicht zutreffend. Nach der heutigen Auffassung müssen wir aber vor allem auch die Kondensationsbedingungen und also in erster Reihe die möglichen Auftriebe der Luftströme in Betracht ziehen. Wie an anderer Stelle[1]) eingehend gezeigt wurde, hat die Ostsee wirklich eine diesbezügliche Wirkung, in dem sie den Luftdruck erniedrigt und die Windbahnen oder Strömungslinien zyklonaler macht. Dies geschieht aber aus thermischen Gründen nur, so lange die See wärmer als das Land ist, also in der kälteren Jahreszeit. Auch diese Erklärung genügt somit nicht für den Sommer. Eine dritte Wirkung könnte man in der verminderten Reibung über den Wasserflächen annehmen. Winde, die die Ostsee verlassen, werden hierdurch nach links gedreht, die Stromlinien werden somit stärker zyklonal gekrümmt. Also könnte eine Drehung des niederschlagsreichsten Windes von S zu SE erklärt werden. Aber wie die obigen Ablenkungswinkel lehren, sind diese in Helsingfors für S-Winde kaum kleiner als nach Hildebrandsson auf der Ostsee. In Kuopio sind die Unterschiede schon grösser, aber jedenfalls so klein (etwa 20°), dass sie von geringem Belang sind.

[1]) Osc. V. Johansson, Vindförhållandena i Fennoskandia. Terra 1914.

Wir kommen schliesslich zu dem dritten von Kämtz hervorgehobenen Erklärungsgrunde, dem Einfluss der skandinavischen Gebirge. Ohne Zweifel üben diese eine hervorragende zum Teil auch längst erkannte Wirkung auf die Niederschlagsverhältnisse Nordeuropas aus. Wir wollen nachsehen, in wie weit die Niederschlagswahrscheinlichkeit der verschiedenen Winde hierdurch erklärt werden kann. Die von Mohn[1]) für sämtliche norwegische Beobachtungsstationen berechneten Niederschlags-Windrosen zeigen den deutlichen und unzweifelhaften Einfluss der Gebirge daselbst. Auf der W-Küste haben durchgehend die Winde von der W-Seite, im Inneren auf der E-Seite der Gebirge wiederum die E-Winde die grösste Wahrscheinlichkeit für Niederschlag. Die entgegengesetzten Winde sind im allgemeinen die trockensten. Die dynamische Abkühlung und Erwärmung beim Auf- und Absteigen an dem Gebirge ist ohne Zweifel die Ursache zu diesen Eigenschaften in Norwegen. Es fragt sich nun, in wie weit man den Einfluss der Gebirge ostwärts annehmen kann. Für Schweden scheinen nur für Stockholm und Uppsala diesbezügliche Windrosen berechnet vorzuliegen. Der Hauptsache nach zeigen diese dieselben Eigenschaften wie diejenigen für E-Norwegen und Finland. Eine Proberechnung für Östersund (1891—1895, Januar und Juli) gab ähnliche Ergebnisse. Für die Winde von der E-Seite wurde die Regenwahrscheinlichkeit im Mittel 61, für diejenige von der W-Seite 38 %. Als resultierende Windrichtung der Regenwahrscheinlichkeit ergab sich in Östersund N 87° E. Wenigstens von 60° Breite nordwärts dürften in Schweden somit die E-Winde eine grössere Wahrscheinlichkeit für Niederschlag als W-Winde haben. Die alten Ergebnisse für Laihela, Åbo und Uleåborg gaben schon dasselbe für Finland an. Durch neuere Berechnungen der Windrosen für Sulkava, Helsingfors und Sodankylä, durch die von Korhonen[2]) für 6 finnische Orte ermittelten und die obigen Gradientstudien wurden diese Ergebnisse durchgehends bestä-

---

[1]) Klima-Tabeller for Norge. Nedbor-Vindroser.

[2]) Korhonen, V. V. Sadetuuliruusuja Suomessa.

tigt. Aber für Orte in N-Russland findet man schon, dass S- oder SW-Winde die niederschlagsreichsten werden. Sieht man die vorgefundenen Daten näher an, so findet man auch, dass eine Drehung des niederschlagsreichsten Windes regelmässig bei wachsender E-Länge vorsichgeht. Um dieses übersichtlich zu zeigen, sei hier die resultierende Niederschlagsrichtung aus den Wahrscheinlichkeitszahlen für einige Vergleichsorte berechnet und zusammengestellt.

	Länge E v. Gr.	Result. Niederschl. Richt.		Länge E v. Gr.	Result. Niederschl. Richt.
Breite etwa 65°			*Breite etwa 60°*		
Nordoerne. . . .	11	S 88 W	Bergen	5	S 37 W
Uleåborg.	25	S 68 E	Christiania . . .	11	E
Kajana	28	S 46 E 22	Stockholm . . .	18	S 89 E
Archangelsk. . .	41	S 27 W 73	Uppsala	18	N 77 E
			Mariehamn . . .	20	S 85 E
Breite etwa 63°			Åbo	22	(S 52 E)
Christiansund .	8	N 79 W	Helsingfors . . .	25	S 62 E
Røros	11	N 38 E	Viborg.	29	S 53 E
Östersund	15	N 87 E	St. Petersburg .	30	S 33 E
Vasa	21	S 86 E			
Laihela.	22	(S 40 E)			
Kuopio.	28	S 60 E			

Sieht man von den alten Werten für Laihela und Åbo ab, so findet man durchgehends eine Rechtsdrehung der resultierenden beim Fortschreiten E-wärts, wenigstens in Finland. Die Drehung beträgt etwa 45° pro 10° Längenunterschied. Dagegen findet man keine deutliche Änderung mit der Breite, denn bildet man z. B. für die finnischen Orte Gruppenmittel nach der Breite, so ergibt sich für 60, 63 und 65° Breite durchgehends etwa S 60 E als resultierende Richtung, in Sodankylä in 67 ½ Breite S 79 E. Eine Wirkung der Ostsee und des Bottnischen Meerbusens tritt also nicht in diesen Zahlen hervor. Die Ursache muss in W gesucht werden und am nächsten muss man den Gebirgen daselbst einen wichtigen Einfluss zuschreiben. Diese trocknen alle

W-Winde aus, absolut an der Luvseite, relativ noch mehr an der Leeseite. Die E-Winde werden somit niederschlagsreicher als die W-Winde. In der Nähe der Gebirgskette muss man sogar ein durch diese hervorgerufenes Aufsteigen der E-Winde annehmen, aber obwohl diese Wirkung durch Stauung in einiger Entfernung von den Gebirgen noch bemerkbar werden kann, so dürfte eine solche jedenfalls nicht bis E-Finland reichen. Die Hauptwirkung liegt wohl in dem Austrocknen der W-Winde. Die zyklonalen S-Winde, die sonst wohl niederschlagsreich wären, bringen zum Teil auch Luft von W mit und werden weniger feucht als SE- und E-Winde.

Überblickt man aber die Niederschlagswindrosen für andere Gegenden (nach Kämtz, Hann, Weseloffskij usw.) oder diesbezügliche nach dem Muster Hildebrandssons ausgeführte Gradienten-Studien, so findet man noch viele unklare Ergebnisse, u. a. auch mehrmals anderorts Niederschlagsmaxima bei E-Winden oder an der E-Seite der Zyklone. Z. B. fand Hildebrandsson in Väderöbod an der schwedischen W-Küste (vgl. ober S. 19) ein ausgesprochenes Maximum bei W-Gradienten (Landwinden) und ein Minimum bei E- und NE-Gradienten (Seewinden), obwohl dieser Ort kaum von den skandinavischen Gebirgen beeinflusst werden kann. Auch an mehreren russischen Orten wie Petersburg, Wladimir, Moskau u. s. w., zeigt diese Resultierende, im Winter sehr allgemein, eine, obwohl manchmal sehr schwache, östliche Komponente. Hann und Woeikoff[1]) haben seinerzeits diese niederschlagsreichen SE-Winde als abgelenkte SW-Winde aufgefasst. In E-Amerika und E-Asien fand man ebenso längst die E-Winde niederschlagsreicher als die W-Winde. Hierbei hat man wiederum diese als feuchte Seewinde aufgefasst. Überblickt man alle derartigen Ergebnisse, so scheint es jedoch fraglich, ob nicht diese Eigenschaften der Vorderseite der Zyklone allgemein zuzuordnen wären. Schon die alten Schema von Mohn, Abercromby u. s. w. zeigten diese Eigenschaften und ebenso finden sich dieselben in

---

[1]) Vgl. Sitzungsber. der Wiener-Akad. 1869 u. 1871.

der etwas neu ausgebauten Regentheorie Bjerknes. Es wäre aber durch eingehendere Untersuchungen noch festzustellen, weshalb die S-Seite der Zyklone mit SW-Winden in einigen Gegenden z. B. in den Norddeutschen Ebenen am niederschlagsreichsten werden. Die weitere Drehung dieses Maximums von SW- zu NW-Winden auf der N-Seite der Alpen ist ja eine anerkannte Wirkung der Gebirge. Sie trocknen die absteigenden SW-Winde aus, wogegen das Aufsteigen der NW-Winde Kondensation mitbringt. Vielleicht kann man auch weiter im Norden die Wirkung derselben Gebirge spüren, da der erwähnte trockene SW-Wind auf seinem zyklonalen Weg nordwärts zu S, SE und E umbiegt und also die Vorderseite der Zyklone in N-Deutschland trocken macht.

Öfversigt af Finska Vetenskaps-Societetens Förhandlingar.
Bd. LXI. 1918—1919. Afd. A. N:o 13.

Abschätzung der Einheiten eines gegebenen algebraischen Körpers

von

K. Wäisälä.

1. Wie Lagrange[1]) erst bewiesen hat, besitzt die s. g. Pellsche Gleichung

$$u^2 - Dv^2 = 1, \tag{1}$$

wo D eine positive, nicht quadratische ganze Zahl bedeutet, unendlich viele ganzzahlige Lösungen. Dieses Resultat ist von Dirichlet[2]) verallgemeinert worden, indem er, dem Lagrangeschen Gedankengang folgend, zeigte, dass wenn $x_1, x_2, \ldots, x_n$ die Wurzeln der irreduziblen ganzzahligen Gleichung

$$x^n + a_1 x^{n-1} + \ldots + a_n = 0 \tag{2}$$

sind und $\varphi(u, x)$ den Ausdruck

$$\varphi(u, x) = u_0 + u_1 x + \ldots + u_{n-1} x^{n-1} \tag{3}$$

bedeutet, wo $u_0, u_1, \ldots, u_{n-1}$ Variablen bezeichnen, die Gleichung

---

[1]) *Oeuvres*, tome I, p. 671—731, tome VII, p. 158.

[2]) *Monatsberichte der Berl. Akad.* Oct. 1841, Apr. 1842, März 1846. *Comptes rendus* der Pariser Akad. 1840, tome X p. 286—288.

$$(4) \qquad \prod_{\nu=1}^{n} \varphi(u, x_\nu) = 1$$

unendlich viele ganzzahlige Lösungen hat, oder mit anderen Worten, dass der Körper von x_ν unendlich viele Einheiten enthält. Falls $n = 2$ wird jedoch vorausgesetzt, dass die Wurzeln der Gleichung (2) reell sind. Für $n = 2$, $a_1 = 0$, $a_2 = -D$ reduziert sich die Gleichung (4) auf die Pellsche Gleichung.

Remak[1]) hat den Lagrangeschen Beweis in der Weise umgeformt, dass daraus eine obere Grenze für die kleinste Lösung der Pellschen Gleichung hervorgeht. Er hat gefunden, dass die Gleichung (1) wenigstens ein ganzzahliges Wurzelpaar besitzt, welches die Bedingung

$$(5) \qquad \begin{aligned} u &< ([\sqrt{4D}]+1)^{2[\sqrt{4D}]^3+1} \\ v &< ([\sqrt{4D}]+1)^{2[\sqrt{4D}]^3} \end{aligned}$$

erfüllt[2]). Perron[3]) hat, auf die Theorie der Kettenbrüche gestützt, folgende genauere obere Grenze gefunden:

$$(6) \qquad \begin{aligned} u &< 2(b+1)^4\left(\frac{2}{3}b+1\right)^{2b(b+1)-4}, \\ v &< 2(b+1)^3\left(\frac{2}{3}b+1\right)^{2b(b+1)-4}, \end{aligned}$$

wo $b = [\sqrt{D}]$. In beiden Fällen ist also die obere Grenze als Funktion von D ausgedrückt worden.

Zweck der vorliegenden Arbeit ist, zu zeigen, wie man, dem Gedankengang von Lagrange Dirichlet, und Remak folgend, eine obere Grenze für die absolut kleinste

---

[1]) Remak, *Abschätzung der Lösung der Pellschen Gleichung im Anschluss an den Dirichletschen Existenzbeweis.* Journ. für Math., Bd 143 (1913), S. 250—254.

[2]) Wir bezeichnen in dieser Abhandlung wie gewöhnlich mit $[a]$ die grösste ganze Zahl, die $\leq a$ ist.

[3]) Perron, *Abschätzung der Lösung der Pellschen Gleichung.* Journ. für Math., Bd 144 (1914), S. 71—73.

Lösung der allgemeinen Gleichung (4) bestimmen kann. Wir werden finden, dass diese Gleichung sicher ein Wurzelsystem hat, welches die Bedingung

$$(7) \qquad |u_0|, |u_1|, \ldots, |u_{n-1}| < \frac{n^{\frac{n}{2}}}{2^n}(A+1)^{(n-1)^2} e^{\frac{4nS^{n+1}}{(n+1)^2(n-2)}}$$

erfüllt, wo S und s die Grössen

$$S = (1 + r^{2(n-1)})(4s)^{n-2}, \quad s = \frac{r^n - 1}{r - 1},$$

A den grössten absoluten Wert der Koeffizienten und r denjenigen der Wurzeln der Gleichung (2) bedeuten. In dem Falle, dass die Gleichung (2) wenigstens eine reelle Wurzel besitzt, finden wir die genauere obere Grenze:

$$(8) \qquad |u_0|, |u_1|, \ldots, |u_{n-1}| < \frac{n^{\frac{n}{2}}}{2^n}(A+1)^{(n-1)^2} e^{\frac{4n(2s)^{n^2-1}}{(n+1)^2(n-1)}}.$$

Da jedenfalls $r < A + 1$ ist, bleibt die Richtigkeit der obigen Ungleichungen noch bestehen, wenn r durch $A + 1$ ersetzt wird, wodurch die obere Grenze als Funktion von A allein ausgedrückt wird.

2. Wir nehmen zunächst an, dass die Gleichung (2) wenigstens eine reelle Wurzel, etwa x_1, besitzt.

Wir setzen in (3) für $u_1, u_2, \ldots, u_{n-1}$ in jeder möglichen Weise die Werte $0, 1, 2, \ldots, p$ $(p \geq 1)$ ein und bestimmen jedesmal für u_0 einen solchen ganzzahligen Wert, dass

$$0 \leq \varphi(u, x_1) \leq 1$$

wird. Da die Gleichung (2) irreduzibel ist, kann das Gleichheitszeichen nur dann eintreten, wenn $u_1 = u_2 = \ldots = u_{n-1} = 0$ ist, in welchem Falle wir u_0 zwei Werte, 0 oder 1, geben können. Wir haben also im ganzen $(p+1)^{n-1} + 1$ ver-

schiedene Wertsysteme $u_0, u_1, \ldots, u_{n-1}$, und jedem Systeme entspricht ein bestimmter Wert des Ausdruckes $\varphi(u, x_1)$.

Wir teilen nun das Intervall (0, 1) in $(p+1)^{n-1}$ gleiche Teile. Dann müssen wenigstens zwei der obengenannten $(p+1)^{n-1}+1$ Werte von $\varphi(u, x_1)$ in dasselbe Teilintervall fallen. Die Differenz dieser Werte hat die Form

$$\varphi(b_p, x_1) = b_{p,0} + b_{p,1} x_1 + \cdots + b_{p,n-1} x_1^{n-1}, \tag{9}$$

wo die b ganze Zahlen sind, die die Bedingungen

$$|b_{p,\nu}| \leqq p \quad (\nu = 1, 2, \ldots, n-1) \tag{10}$$

erfüllen und nicht alle verschwinden. Weiter genügt $\varphi(b, x_1)$ der Ungleichung

$$|\varphi(b_p, x_1)| < \frac{1}{(p+1)^{n-1}}. \tag{11}$$

Nach (9), (10) und (11) ergibt sich

$$\begin{aligned} |b_{p,0}| &= |\varphi(b_p, x_1) - (b_{p,1} x_1 + \cdots + b_{p,n-1} x_1^{n-1})| \\ &\leqq |\varphi(b_p, x_1)| + |b_{p,1} x_1| + \cdots + |b_{p,n-1} x_1^{n-1}| \\ &< \frac{1}{(p+1)^{n-1}} + p(|x_1| + |x_1|^2 + \cdots + |x_1|^{n-1}). \end{aligned}$$

Wenn r den grössten absoluten Wert der Wurzeln der Gleichung (2) bedeutet und

$$s = \frac{r^n - 1}{r - 1} \tag{12}$$

ist, so wird für jedes ν

$$\sum_{h=1}^{n-1} |x_\nu|^h \leqq \sum_{h=1}^{n-1} r^h = s - 1 \tag{13}$$

und folglich

(14) $$|b_{p,0}| < ps\,.$$

Weiter finden wir

$$\begin{aligned}|\varphi(b_p, x_\nu)| &= |b_{p,0} + b_{p,1}\,x_\nu + \cdots + b_{p,n-1}\,x_\nu^{n-1}| \\ &\leq |b_{p,0}| + |b_{p,1}\,x_\nu| + \cdots + |b_{p,n-1}\,x_\nu^{n-1}| \\ &< ps + p(|x_\nu| + |x_\nu|^2 + \cdots + |x_\nu|^{n-1}),\end{aligned}$$

woraus sich nach (13)

(15) $$|\varphi(b_p, x_\nu)| < 2ps$$

ergibt. Mit Rücksicht auf (11) und (15) erhalten wir jetzt

(16) $$\left|\prod_{\nu=1}^{n} \varphi(b_p, x_\nu)\right| < \frac{1}{(p+1)^{n-1}}(2ps)^{n-1} < (2s)^{n-1} = S\,.$$

Wir haben somit bewiesen, dass wie auch p gewählt sei, es immer wenigstens eine Funktion $\varphi(b_p, x_1)$ gibt, deren Koeffizienten b den Ungleichungen (10) und (14) genügen und die selbst absolut genommen $< \frac{1}{(p+1)^{n-1}}$ bleibt, während das Produkt $|\Pi\varphi(b_p, x_\nu)|$ unterhalb einer von p unabhängigen Grenze bleibt. Für jeden Wert p denken wir uns im folgenden eine bestimmte Funktion $\varphi(b_p, x)$ ausgewählt, die diese Eigenschaft besitzt.

3. Wir wählen nun für p sukzessiv die Werte $p_1 (=1)$, $p_2, p_3 \ldots$, die durch die Rekursionsformel (vgl. die zweite Note S. 2)

(17) $$p_{\mu+1} = \left[\left(\frac{S}{|Q_\mu|}\right)^{\frac{1}{n-1}} \cdot p_\mu\right]$$

bestimmt sind[1]). Q_μ bedeutet hierbei die ganze Zahl

[1]) Es ist leicht einzusehen, dass die Zahlen p_μ ins Unendliche wachsen. Nach (16) ist nämlich

$$\frac{S}{|Q_\mu|} > \left(\frac{p_\mu + 1}{p_\mu}\right)^{n-1},$$

woraus sich

$$p_{\mu+1} > p_\mu + 1$$

ergibt.

(18) $$Q_\mu = \prod_{\nu=1}^{n} \varphi(b_{p_\mu}, x_\nu).$$

Wir zeigen zunächst, dass die Wertsysteme

$$b_{p_\mu,0},\ b_{p_\mu,1}, \ldots, b_{p_\mu,n-1} \quad (\mu = 1, 2, 3, \ldots)$$

alle von einander verschieden sind. In der Tat ist

$$|\varphi(b_{p_\mu}, x_1)| = \frac{\left|\prod\limits_{\nu=1}^{n} \varphi(b_{p_\mu}, x_\nu)\right|}{\left|\prod\limits_{\nu=2}^{n} \varphi(b_{p_\mu}, x_\nu)\right|} > \frac{|Q_\mu|}{(2p_\mu s)^{n-1}} = \frac{1}{\left(\left(\frac{S}{|Q_\mu|}\right)^{\frac{1}{n-1}} \cdot p_\mu\right)^{n-1}}$$
$$> \frac{1}{(p_{\mu+1}+1)^{n-1}} > |\varphi(b_{p_{\mu+1}}, x_1)|,$$

und somit

$$|\varphi(b_{p_1}, x_1)| > |\varphi(b_{p_2}, x_1)| > |\varphi(b_{p_3}, x_1)| > \cdots,$$

woraus die Richtigkeit unserer Behauptung folgt.

Nach der Ungleichung (16) sind alle Q absolut genommen $< S$. Es sei k die kleinste Zahl, für welche es unter den Zahlen $\pm 1, \pm 2, \ldots, \pm (S-1)$ eine, etwa h, gibt, die in der Reihe

(19) $$Q_1, Q_2, \ldots, Q_k$$

$|h|^n + 1$ Mal vorkommt. Dann ist nach (17)

$$p_k \leq \prod_{\mu=1}^{k-1} \left(\frac{S}{|Q_\mu|}\right)^{\frac{1}{n-1}}.$$

Weil in der Reihe $|Q_1|, |Q_2|, \ldots, |Q_{k-1}|$ die Zahl 1 höchstens $2 \cdot 1^n$ Mal, die Zahl 2 höchstens $2 \cdot 2^n$ Mal, ..., die Zahl $S-1$ höchstens $2(S-1)^n$ Mal auftritt, so erhällt man hieraus

$$p_k \leq \prod_{\mu-1}^{S} \left(\frac{S}{\mu}\right)^{\frac{2\mu^n}{n-1}}.$$

In dem Falle, dass eine der Zahlen $Q_1, Q_2, \ldots, Q_{k-1}$, etwa Q_ν, gleich 1 ist, bilden die zugehörigen Zahlen $b_{p_\nu,0}, b_{p_\nu,1}, \ldots, b_{p_\nu,n-1}$, eine ganzzahlige Lösung der Gleichung (4). Nach (10) und (14) sind die Zahlen $|b_{p_\nu}|$ kleiner als $p_\nu s$ und also, nach der Note S. 5, a fortiori kleiner als $p_k s$. Nach der in Art. 6 für die rechte Seite der letzt erhaltenen Ungleichung gegebene Abschätzung folgt hieraus, dass die Zahlen $|b_{p_\nu}|$ kleiner als

$$se^{\frac{4S^{n+1}}{(n+1)^2(n-1)}}$$

sind, welche Grenze viel niedriger ist als die in der Einleitung angekündigte Grenze (8).

Ist keine der Zahlen $Q_1, Q_2, \ldots, Q_{k-1}$ gleich 1, so tritt in der Reihe $|Q_1|, |Q_2|, \ldots, |Q_{k-1}|$ die Zahl 1 höchstens 1^n Mal und jede andere Zahl μ ($\mu = 2, 3, \ldots, S-1$) höchstens $2 \cdot \mu^n$ Mal auf, so dass

$$p_k \leqq S^{-\frac{1}{n-1}} \prod_{\mu=1}^{S} \left(\frac{S}{\mu}\right)^{\frac{2\mu^n}{n-1}} \tag{20}$$

wird.

Wir wählen nun unter den Zahlen (19) diejenigen $|h|^n+1$ aus, die gleich h sind, und bilden die Reste (mod h) der zugehörigen Zahlen b_p. Da es unter diesen Restsystemen höchstens $|h|^n$ verschiedene geben kann, während alle $|h|^n+1$ Wertsysteme der b_p untereinander verschieden sind, muss wenigstens zu zwei von diesen Wertsystemen, etwa

$$\begin{array}{l} c_0, \; c_1, \; \ldots, \; c_{n-1}, \\ d_0, \; d_1, \; \ldots, \; d_{n-1}, \end{array}$$

ein und dasselbe Restsystem (mod h) gehören, woraus folgt

$$c_\nu = d_\nu + d_\nu' h \quad (\nu = 0, 1, \ldots, n-1). \tag{21}$$

Setzt man

$$\beta = p_k s, \tag{22}$$

so wird nach (10) und (14) für jedes ν

(23) $$|c_\nu|, \ |d_\nu| < \beta.$$

Da nun

$$\prod_{\nu=1}^{n} \varphi(c, x_\nu) = \prod_{\nu=1}^{n} \varphi(d, x_\nu) = h$$

und nach (21)

$$\varphi(c, x_1) = \varphi(d, x_1) + h\varphi(d', x_1),$$

so wird

(24) $$\frac{\varphi(c, x_1)}{\varphi(d, x_1)} = \frac{(\varphi(d, x_1) + h\varphi(d', x_1))\varphi(d, x_2) \dots \varphi(d, x_n)}{\prod_{\nu=1}^{n} \varphi(d, x_\nu)}$$
$$= \frac{h + h\varphi(d', x_1)\varphi(d, x_2) \dots \varphi(d, x_n)}{h}$$
$$= g_0 + g_1 x_1 + \dots + g_{n-1} x_1^{n-1} = \varphi(g, x_1),$$

wo

(25) $$g_0, g_1, \dots, g_{n-1}$$

ganze Zahlen sind. Diese Gleichung gilt aber dann auch für die anderen Wurzeln der irreduziblen Gleichung (2), woraus folgt:

$$\Pi\varphi(g, x_\nu) = \frac{\Pi\varphi(c, x_\nu)}{\Pi\varphi(d, x_\nu)} = \frac{h}{h} = 1.$$

Die Zahlen (25) bilden also ein Wurzelsystem der Gleichung (4).

4. Wir wollen jetzt eine obere Grenze für die Zahlen (25) berechnen. Aus (24) folgt:

(26) $$c_0 + c_1 x_1 + \dots + c_{n-1} x_1^{n-1} = d_0 g_0 + (d_1 g_0 + d_0 g_1) x_1 +$$
$$+ (d_2 g_0 + d_1 g_1 + d_0 g_2) x_1^2 + \dots + d_{n-1} g_{n-1} x_1^{2n-2}.$$

Nach der Gleichung (2) ist

$$x_1^{2n-2} = -(a_1 x_1^{2n-3} + a_2 x_1^{2n-4} + \cdots + a_n x_1^{n-2}).$$

Setzt man diesen Ausdruck in die rechte Seite der Gleichung (26) ein, so kommt dort noch höchstens die $(2n-3)^{\text{te}}$ Potenz von x_1 vor. Wird in den so gewonnenen Ausdruck

$$x_1^{2n-3} = -(a_1 x_1^{2n-4} + a_2 x_1^{2n-5} + \cdots + a_n x_1^{n-3})$$

gesetzt, erhält man ein Polynom, das in bezug auf x_1 höchstens vom $(2n-4)^{\text{ten}}$ Grade ist. Wenn man in dieser Weise fortsetzt, wird schliesslich die rechte Seite der Gleichung in die Form

(27) $$A_0 + A_1 x_1 + \cdots + A_{n-1} x_1^{n-1}$$

übergeführt. Hier ist

$$A_\mu = \alpha_{\mu,0}\, g_0 + \alpha_{\mu,1}\, g_1 + \cdots + \alpha_{\mu,n-1}\, g_{n-1},$$

wo die α ganze Zahlen bedeuten.

Zur Bestimmung der Zahlen g erhält man jetzt die n linearen Gleichungen

$$\begin{array}{l}
\alpha_{0,0}\, g_0 + \alpha_{0,1}\, g_1 + \cdots + \alpha_{0,n-1}\, g_{n-1} = c_0, \\
\alpha_{1,0}\, g_0 + \alpha_{1,1}\, g_1 + \cdots + \alpha_{1,n-1}\, g_{n-1} = c_1, \\
\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots, \\
\alpha_{n-1,0}\, g_0 + \alpha_{n-1,1}\, g_1 + \cdots + \alpha_{n-1,n-1}\, g_{n-1} = c_{n-1}.
\end{array}$$

Da diese Gleichungen, weil die gegebene Gleichung (2) irreduzibel ist, für die Zahlen g eindeutig bestimmte Werte geben müssen, ist die Determinante ihrer Koeffizienten sicher von Null verschieden, und also, da die α ganze Zahlen sind, dem absoluten Betrage nach ≥ 1. Hieraus folgt, dass

$$|g_\nu| \leq \begin{vmatrix}
\alpha_{0,0} \cdots\cdots \alpha_{0,\nu-1} & \alpha_{0,\nu+1} \cdots\cdots \alpha_{0,n-1} & c_0 \\
\alpha_{1,0} \cdots\cdots \alpha_{1,\nu-1} & \alpha_{1,\nu+1} \cdots\cdots \alpha_{1.n-1} & c_0 \\
\cdots\cdots\cdots & \cdots\cdots\cdots & \cdots \\
\alpha_{n-1,0} \cdots \alpha_{n-1,\nu-1} & \alpha_{n-1,\nu+1} \cdots \alpha_{n-1,n-1} & c_{n-1}
\end{vmatrix}$$

ist, wenn man von dem Zeichen der Determinante absieht.

Nach (23) ist jedes $|c_\nu| < \beta$. Wählen wir eine solche Zahl α, dass die Ungleichung

$$|\alpha_{\mu,\nu}| \leqq \alpha$$

für jedes μ, ν besteht, so wird offenbar $|g_\nu| \leqq n!\ \alpha^{n-1}\beta$. Aus Hadamard's Untersuchungen [1]) über den grössten Wert einer Determinante, deren Elemente unterhalb einer bestimmten Grenze bleiben, können wir aber für die Zahlen g eine genauere Abschätzung erhalten, nämlich

$$(28) \qquad |g_\nu| < n^{\frac{n}{2}} \alpha^{n-1} \beta.$$

Im folgenden Art. werden wir zeigen, dass

$$(29) \qquad |\alpha_{\mu,\nu}| \leqq \beta (A+1)^{n-1}$$

ist, wo A den grössten absoluten Wert der Koeffizienten der Gleichung (2) bedeutet. Wir können somit in der Ungleichung (28) $\alpha = \beta(A+1)^{n-1}$ setzen, wodurch sie in die Form

$$(30) \qquad |g_\nu| < n^{\frac{n}{2}} \beta^n (A+1)^{(n-1)^2}$$

übergeht. Setzt man hier noch den Wert (22) von β ein und beachtet man weiter, dass

$$(31) \qquad p_k < \frac{1}{2s} e^{\frac{4S^{n+1}}{(n+1)^2(n-1)}}$$

ist, wie in Art. 6 nachgewiesen wird, so findet man schliesslich

[1]) Hadamard, *Résolution d'une question relative aux déterminants.* Bulletin des Sciences mathématiques, tome XVII (1893), p. 240—246.

$$|g_\nu| < \frac{n^{\frac{n}{2}}}{2^n} (A+1)^{(n-1)^2} e^{\frac{4nS^{n+1}}{(n+1)^2(n-1)}}.$$

Hiermit haben wir dann für die kleinste ganzzahlige Lösung der Gleichung (4) eine obere Grenze gefunden, die mit dem oben angekündigten Resultat (8) übereinstimmt, wenn nach (16) für die Grösse S ihr Wert $(2s)^{n-1}$ eingeführt wird.

5. Wir wollen jetzt die Ungleichung (29) herleiten. Zu diesem Zwecke betrachten wir, neben dem Polynom an der rechten Seite der Gleichung (26), das Polynom

$$\beta(g_0 + g_1 + \cdots + g_{n-1})(1 + x_1 + \cdots + x_1^{2n-2}),$$

das von gleichem Grade ist und dessen Koeffizienten ebenfalls lineare Funktionen von $g_0, g_1, \ldots, g_{n-1}$ sind. Wir bemerken, dass dieses letzte Polynom eine »Majorante» des erstgenannten ist, in dem Sinne, dass der Koeffizient jedes einzelnen Produkts $g_\mu x_1^\nu$ im obigen Polynom positiv ist und, nach (23), grösser als der absolute Betrag des entsprechenden Koeffizienten an der rechten Seite von (26).

Wenn wir jetzt im obigen Polynom x_1^{2n-2} durch den Ausdruck

$$A(x_1^{2n-3} + x_1^{2n-4} + \cdots + x_1^{n-2})$$

ersetzen, wo A den grössten absoluten Betrag der Koeffizienten der Gleichung (2) bedeutet, so gelangen wir zum Polynom

$$\beta(g_0 + \cdots + g_{n-1})\{1 + x_1 + \cdots + x_1^{n-3} + (A+1)(x_1^{n-2} + \cdots + x_1^{2n-3})\},$$

das uns offenbar eine Majorante in dem oben erklärten Sinne liefert zu dem S. 9 durch die entsprechende Substitution hervorgegangenen Polynom. Dieselbe Eigenschaft besitzt dann umsomehr das Polynom

$$\beta(A+1)(g_0 + \cdots + g_{n-1})(1 + x_1 + \cdots + x_1^{2n-3}).$$

Ersetzt man hier wieder x_1^{2n-3} durch

$$A(x_1^{2n-4} + x_1^{2n-5} + \cdots + x_1^{n-3}),$$

so findet man in derselben Weise, dass das Polynom

$$\beta(A+1)^2(g_0 + \cdots + g_{n-1})(1 + x_1 + \cdots + x_1^{2n-4})$$

eine Majorante des S. 9 bei dem entsprechenden Schritte erhaltenen Polynoms ist.

Setzt man in dieser Weise fort so gelangt man schliesslich zu dem Polynom $(n-1)^{\text{ten}}$ Grades

$$\beta(A+1)^{n-1}(g_0 + \cdots + g_{n-1})(1 + x_1 + \cdots + x_1^{n-1}),$$

welches uns somit eine Majorante des Polynoms (27) gibt, woraus die gesuchte Ungleichung (29) unmittelbar folgt.

6. Wir haben noch die Richtigkeit der Ungleichung (31) nachzuweisen.

Setzt man

$$f(x) = \frac{2x^n}{n-1} \log \frac{S}{x},$$

so folgt aus der Ungleichung (20)

$$\log p_k < \log S^{-\frac{1}{n-1}} + \sum_{\mu=1}^{S} f(\mu). \tag{32}$$

Die Ableitung

$$f'(k) = \frac{2nx^{n-1}}{n-1}\left(\log \frac{S}{x} - \frac{1}{n}\right)$$

verschwindet nur für $x = Se^{-\frac{1}{n}}$. Für diesen Wert von x erhält die Funktion $f(x)$ ihr einziges Maximum

$$f_{\text{Max}} = \frac{2S^n}{n(n-1)e}.$$

Hieraus schliesst man in bekannter Weise

$$(33)\qquad \sum_{\mu=1}^{S} f(\mu) < \int_1^S f(x)dx + f_{\mathrm{Max}}.$$

Es ist aber

$$F(x) = \int f(x)dx = \frac{2x^{n+1}}{n^2-1}\left(\log\frac{S}{x} + \frac{1}{n+1}\right),$$

woraus sich

$$\int_1^S f(x)dx < F(S) = \frac{2S^{n+1}}{(n+1)^2(n-1)}$$

ergibt. Weil man immer $s > 1$ und folglich $S > 2^{n-1}$ hat, so ist, wie leicht ersichtlich, der letzt gewonnene Ausdruck stets $> f_{\mathrm{Max}}$, und folglich ist nach (32) und (33)

$$\log p_k < \log S^{-\frac{1}{n-1}} + \frac{4S^{n+1}}{(n+1)^2(n-1)},$$

woraus mit Rücksicht auf (16) die Ungleichung (31) folgt.

7. Wir betrachten hiernach den Fall, wo die Gleichung (2) keine reelle Wurzel hat und ihr Grad $n \neq 2$ und folglich > 4 ist.

Es sei

$$x_1 = r(\cos\varphi + i\sin\varphi),\quad x_2 = r(\cos\varphi - i\sin\varphi)$$

das dem absoluten Betrage nach grösste konjugierte Wurzelpaar der Gleichung (2). Dann können wir schreiben:

$$(34)\qquad \begin{aligned}\varphi(u, x_1) = u_0 + u_1 r\cos\varphi + u_2 r^2\cos 2\varphi + \cdots + u_{n-1}r^{n-1}\cos(n-1)\varphi \\ + i(u_1 r\sin\varphi + u_2 r^2 \sin 2\varphi + \cdots + u_{n-1}r^{n-1}\sin(n-1)\varphi) \\ = \psi(u) + i\chi(u).\end{aligned}$$

Es sei ferner k diejenige unter den Zahlen 1, 2, ..., n—1, für welche

$$(35) \qquad |\sin k\varphi| \geqq |\sin \nu\varphi| \quad (\nu = 1, 2, \ldots, n-1)$$

ist.

Wir setzen in $\varphi(u, x_1)$ für $u_1, u_2, \ldots, u_{k-1}, u_{k+1}, \ldots, u_{n-1}$ in jeder möglichen Weise die Werte 0, 1, ..., p ein. Wie ersichtlich können wir jedesmal für u_k einen solchen ganzzahligen Wert auswählen, dass

$$0 \leqq \chi(u) < r^k |\sin k\varphi|$$

wird, und dann für u_0 einen solchen Wert, dass

$$0 \leqq \psi(u) \leqq 1$$

wird. Für $u_1 = u_2 = \cdots = u_{n-1} = 0$ kann die Funktion $\psi(u)$ die beiden Werte 0 und 1 annehmen. $\psi(u)$ nimmt also jedenfalls $(p+1)^{n-2} + 1$ Werte an. Jedem Wert von $\psi(u)$ entspricht ein bestimmter Wert von $\chi(u)$.

Teilt man das Intervall (0, 1) in $(p+1)^{\frac{n}{2}-1}$ gleiche Teile, so gibt es jedenfalls ein Teilintervall, wo wenigstens $(p+1)^{\frac{n}{2}-1} + 1$ von den genannten Werten von $\psi(u)$ liegen. Von den ihnen entsprechenden Werten von $\chi(u)$ werden dann, wenn das Intervall $\left(0, r|\sin k\varphi|\right)$ in $(p+1)^{\frac{n}{2}-1}$ gleiche Teile geteilt wird, wenigstens zwei Werte demselben Teil angehören. Bildet man den Unterschied der entsprechenden $\varphi(u, x_1)$, so ergibt sich ein gewisses

$$\varphi(b_p, x_1) = \psi(b_p) + i\chi(b_p),$$

wo die Zahlen b_p nicht alle gleich Null sind und den Bedingungen

$$(36) \qquad |b_{p,\nu}| \leqq p \quad (\nu = 1, 2, \ldots, k-1, k+1, \ldots, n-1)$$

genügen. Weiter ist

$$(37) \qquad |\psi(b_p)| \leqq \frac{1}{(p+1)^{\frac{n}{2}-1}}, \; |\chi(b_p)| \leqq \frac{r^k |\sin k\varphi|}{(p+1)^{\frac{n}{2}-1}},$$

und folglich

$$(38) \qquad |\varphi(b_p, x_1)| = |\varphi(b_p, x_2)| \leqq \frac{\sqrt{1+r^{2k}}}{(p+1)^{\frac{n}{2}-1}}.$$

Nach (34) ergibt sich

$$b_{p,k}\, r^k \sin k\varphi = \chi(b_p) - \{b_{p,1}\, r \sin \varphi + \cdots + b_{p,k-1}\, r^{k-1} \sin (k-1)\varphi + b_{p,k+1}\, r^{k+1} \sin (k+1)\varphi + \cdots + b_{p,n-1}\, r^{n-1} \sin (n-1)\varphi\},$$

woraus mit Rücksicht auf (35), (36) und (37)

$$(39) \qquad |b_{p,k}|\, r^k < p(r + r^2 + \cdots + r^{n-1})$$

folgt. Weiter ist

$$b_{p,0} = \psi(b_p) - (b_{p,} \; r \cos \varphi + \cdots + b_{p,n-1} r^{n-1} \cos (n-1)\varphi),$$

woraus man mit Hilfe von (36), (37) und (39) zur Ungleichung

$$(40) \qquad |b_{p,0}| < 2p(r + r^2 + \cdots + r^{n-1})$$

gelangt.

Da

$$|\varphi(b_p, x_\nu)| = |b_{p,0} + b_{p,1} x_\nu + \cdots + b_{p,n-1} x_\nu^{n-1}| < |b_{p,0}| + |b_{p,k}| r^k + p\left(|x_\nu| + |x_\nu|^2 + \cdots + |x_\nu|^{n-1}\right)$$

und $|x_\nu| \leqq r$ ist, so findet man mit Rücksicht auf (39) und (40)

$$|\varphi(b_p, x_\nu)| < 4p(r + r^2 + \cdots + r^{n-1}),$$

woraus sich nach (13)

$$(41)\qquad |\varphi(b_p, x_\nu)| < 4ps$$

ergibt, wo s denselben Ausdruck (12) wie früher bedeutet.

Nach (38) und (41) wird nun, wenn wir beachten, dass $k \leqq n-1$ ist,

$$(42)\qquad \left|\prod_{\nu=1}^{n} \varphi(b_p, x_\nu)\right| < \left(\frac{\sqrt{1+r^{2k}}}{(p+1)^{\frac{n}{2}-1}}\right)^2 (4ps)^{n-2} < S,$$

wo diesmal

$$(43)\qquad S = (1 + r^{2(n-1)})\,(4s)^{n-2}$$

ist.

Wir setzen auf ähnliche Weise wie in Art. 3 fort, indem wir für p sukzessiv die Werte $p_1 (=1)$, p_2, p_3, ... geben, die durch die Rekursionsformel (vgl. die zweite Note S. 2)

$$(44)\qquad p_{\mu+1} = \left[\left(\frac{S}{|Q_\mu|}\right)^{\frac{1}{n-2}} \cdot p_\mu\right]$$

definiert sind, wo Q_μ wieder das Produkt (18) bedeutet. Wir finden dann

$$|\varphi(b_{p_\mu}, x_1)| = \left|\frac{\prod_{\nu=1}^{n} \varphi(b_{p_\mu}, x_\nu)}{\prod_{\nu=3}^{n} \varphi(b_{p_\mu}, x_\nu)}\right|^{\frac{1}{2}} > \frac{|Q_\mu|^{\frac{1}{2}}}{(4p_\mu s)^{\frac{n}{2}-1}} = \frac{\sqrt{1+r^{2(n-1)}}}{\left(\left(\frac{S}{Q_\mu}\right)^{\frac{1}{n-2}} \cdot p_\mu\right)^{\frac{n}{2}-1}}$$

$$> \frac{\sqrt{1+r^{2(n-1)}}}{(p_{\mu+1}+1)^{\frac{n}{2}-1}} \geqq |\varphi(b_{p_{\mu+1}}, x_1)|$$

und also

$$|\varphi(b_{p_1}, x_1)| > |\varphi(b_{p_2}, x_1)| > |\varphi(b_{p_3}, x_1)| > \cdots$$

Die Wertsysteme

$$b_{p_\mu, 0},\ b_{p_\mu, 1},\ \ldots,\ b_{p_\mu, n-1} \quad (\mu = 1. 2, 3, \ldots),$$

die zu den Zahlen $p_1, p_2, p_3, \ldots$ gehören, sind folglich untereinander verschieden.

Jetzt kann man wie in Art. 3 fortsetzen. Es ist nur zu bemerken, dass S hier eine andere Bedeutung hat als früher und dass wegen (36), (39), (40) und (13) anstelle von (23) die Ungleichung

$$|c_\nu|,\ |d_\nu| < 2p_k s$$

tritt, woraus folgt, dass in den Ungleichungen (28) und (29) jetzt $\beta = 2p_k s$ zu setzen ist. Weiter ergibt sich statt (20) für p_k die Ungleichung

$$p_k < S^{-\frac{1}{n-2}} \prod_{\mu=1}^{S} \left(\frac{S}{\mu}\right)^{\frac{2\mu^n}{n-2}},$$

und hieraus, durch dasselbe Verfahren wie in Art. 6 mit Rücksicht auf (43),

$$p_k < S^{-\frac{1}{n-2}} e^{\frac{4S^{n+1}}{(n+1)^2(n-2)}} < \frac{1}{4s} e^{\frac{4S^{n+1}}{(n+1)^2(n-2)}}.$$

Nach (30) wird nun

$$|g_\nu| < \frac{n^{\frac{n}{2}}}{2^n} (A+1)^{(n-1)^2} e^{\frac{4nS^{n+1}}{(n+1)^2(n-2)}},$$

womit die Richtigkeit der Ungleichung (7) nachgewiesen ist.

8. Zum Schlusse wollen wir unsere Resultate auf die Pellsche Gleichung (1) anwenden. Die Gleichung (2) hat in diesem Falle die einfache Form

(45) $$x^2 - D = 0.$$

Hier ist also

$$n = 2,\ r = \sqrt{D},\ A = D,\ s = \sqrt{D} + 1.$$

Da die Wurzeln der Gleichung (45) reell sind, gilt die Ungleichung (8), die uns

$$|u|,\ |v| < \frac{1}{2}(D + 1)\, e^{\frac{64}{9}(\sqrt{D}+1)^3}$$

gibt.

Diese obere Grenze der kleinsten Lösung der Pellschen Gleichung ist für $D > 5$ genauer als die Remaksche, aber ungenauer als die Perronsche, was übrigens zu erwarten war, denn Perron gewinnt ja sein Resultat mit Hilfe der Theorie der Kettenbrüche, welche die Lösung der Pellschen Gleichung explizit liefert.



Öfversigt af Finska Vetenskaps-Societetens Förhandlingar.
Bd. LXI. 1918—1919. Afd. A. N:o 14.

Reinkulturen von Flechtengonidien

Akademische Abhandlung

von

HARRY WARÉN



ADDENDA.

Tafel II: Natürliche Grösse.
Tafel III: Ca. 100 — 150-fache Vergrösserung.
Tafel IV—IX: Natürliche Grösse.

HELSINGFORS 1920

HELSINGFORS 1920
HELSINGFORS CENTRALTRYCKERI.

Inhalt.

Öfversigt af Finska Vetenskaps-Societetens Förhandlingar.
Bd. LXI. 1918—1919. Afd. A. N:o 14.

Vorwort.

Der vorliegenden Arbeit liegt die Annahme zu Grunde, dass man bei den unter ein und demselben Artbegriff zusammengeführten Gonidien der verschiedenen Flechtenarten bei näherer Untersuchung irgend welche Differenzen entdecken könnte. Die Berechtigung dieser Annahme sollte durch absolute Reinkulturen der Gonidien geprüft werden. Als absolut rein werden ausschliesslich solche Kulturen betrachtet, die beweislich nur von einem einzigen Algenindividuum herstammen. Selbstverständlich müssen dabei alle fremden Organismen ausgeschlossen werden.

Die Ergebnisse haben nun auch den Erwartungen entsprochen, jedoch erwies sich die Lösung der Frage in mancher Beziehung als schwierig. Einmal war die Erzielung absoluter Reinkulturen sehr umständlich, dann aber zwang die Langsamkeit des Wachstums der Algen den Verfasser zu einer oft unerwünschten Beschränkung des Versuchsplanes. Auch waren jahrelang fortgesetzte Kulturen nötig, um zu entscheiden, welche von den beobachteten Eigenschaften dieser einzelligen Organismen als Artmerkmale dienen konnten, oder welche nur als durch äussere Umstände bedingte Modifikationen angesehen werden mussten.

Bei Prüfung der Identität und Verschiedenheit der Gonidien war es am zweckmässigsten, sich nur an einige wenige Typen derselben zu halten und diese aus möglichst vielen verschiedenen Flechtenarten zu isolieren. Aus diesem Grunde habe ich auch meine Untersuchungen hauptsächlich auf die *Cystococcus*-Gonid.en beschränkt.

Vorliegende Arbeit ist während der Jahre 1914—1918 am botanischen Institut zu Helsingfors ausgeführt worden. Meinem verehrten Lehrer, Herrn Prof. Dr. Fredr. Elfving, der mir die Anregung dazu gegeben und auch die weitere Entwicklung derselben in liebenswürdiger Weise gefördert hat, möchte ich an dieser Stelle meinen herzlichsten Dank aussprechen; ebenso Herrn Dr. Harald Lindberg, der mir seine reiche Erfahrung bei den photographischen Aufnahmen von Pflanzen in freundlichster Weise zur Verfügung gestellt hat.

I. Geschichtliches [1]).

Untersuchungen, denen die Prüfung der Identität der unter demselben Artbegriff zusammengefassten Flechtengonidien als spezielles Ziel diente, sind bisher nicht oft ausgeführt worden. Der Standpunkt der Wissenschaft ist in dieser Beziehung lange derselbe geblieben, wie er sich zur Zeit Schwendeners gebildet hatte, als die Gonidien eben anfingen, eine grössere Aufmerksamkeit auf sich zu ziehen. Schwendener drückt seine Auffassung über die Anzahl der als Gonidien auftretenden Algen in folgenden Worten aus (2, S 225): »Nach meinen bisherigen Unter-

[1]) Eine ausgezeichnete Darstellung der Geschichte der Gonidienforschung hat Elfving (1913) gegeben. Ich habe es jedoch für nötig gefunden, auch schon öfters erörterte Arbeiten von dem Standpunkte meiner Untersuchungen ausgehend zu beleuchten.

suchungen ist es mir nicht mehr zweifelhaft, dass ausser *Cystococcus* und *Pleurococcus* noch mindestens zwei oder drei verschiedene Vertreter der Palmellaceen als Gonidienbildner auftreten, darunter z. B. auch *Stichococcus bacillaris* — — —» Die Lichenologie hatte keine Aussicht mit ihren morphologisch-anatomischen Methoden die Sache weiter zu fördern und auch die älteren Kulturversuche mit Gonidienalgen brachten infolge des Mangels an wirklichen Reinkulturen nur wenig Ergebnisse an den Tag. So sind die Namen *Cystococcus*, *Pleurococcus*, *Chlorococcum*, *Palmella* u. s. w. noch vielfach miteinander verwechselt und mehr oder weniger willkürlich als Gonidien irgend einer Flechtenart bezeichnet worden. Etwas anderes war auch nicht zu erwarten, solange auch die Algologie hinsichtlich der niederen Algen ein fast hoffnungsloses Chaos aufwies. Dass schon S c h w e n d e n e r eine grössere Klarheit in der Benennung der Gonidien für wünschenswert hielt, beweist seine Äusserung (l. c. S. 225): »Insbesondere würde eine scharfe Abgrenzung der Gattungen, bei welchen *Cystococcus* als Gonidienbildner figuriert, (deren Gonidien also Kerne, excentrische helle Räume etc. besitzen) eine bemerkenswerte Lücke ausgefüllt haben.» Die Gattung *Cystococcus* wurde denn auch unter den Gonidien der Gegenstand der meisten Untersuchungen. Es ist leicht verständlich, dass die *Cystococcus*-Gonidien der verschiedenen Flechten bei dem derzeitigen Stadium der Algensystematik als miteinander identisch angenommen wurden. Als F a m i n t z i n und B a r a n e t z k y 1867 die ersten bemerkenswerten Kulturversuche an den Flechtengonidien veröffentlichten, hatten sie schon die Gonidien aus drei verschiedenen Flechtenarten isoliert: *Physcia parietina*, *Evernia furfuracea* und *Cladonia sp.* Sie führten diese zu der Algengattung *Cystococcus* Nägeli und hielten sie für identisch miteinander, wie die folgenden Worte zeigen: »Die Gonidien dieser Flechten» — d. i. *Evernia furfuracea* und *Cladonia sp.* — »wie auch die Zoosporen sind denen der *Physcia* so ausserordentlich ähnlich, dass sie durch keine gewichtigen Merkmale unterschieden werden können.» Etwas später (1872) berichtet W o r o n i n über ähnliche Kultur-

versuche mit den Gonidien von *Parmelia pulverulenta*, die er nach F a m i n t z i n und B a r a n e t z k y mit *Cystococcus humicola* Nägeli identifiziert. Auch die Versuche, welche von mehreren Forschern ausgeführt wurden, um von Algen und Flechtensporen synthetisch Flechten zu erzielen, sprechen dafür, dass ein und dieselbe Algenart in verschiedenen Flechtenarten als Gonidie auftreten kann. So behauptet T r e u b (1873), dass die aus *Ramalina calycaris* isolierten *Cystococcus*-Algen mit den Sporen von *Lecanora subfusca* zur Synthese dieser letztgenannten Flechten verwandt werden konnten, obgleich es ihm nicht gelang, vollständig entwickelte Exemplare zu gewinnen. Mit besserem Erfolge bot S t a h l (1877) den Sporen von *Thelidium minutulum* Gonidien aus der Flechte *Endocarpon pusillum*, die mit der ersteren gesellig lebt. Diese Algen, die nach S t a h l in die Gattung *Pleurococcus* gehören, sollten somit in zwei Flechtenarten von sehr verschiedenem Aussehen als Gonidien vorkommen können. Schliesslich gelang es B o n n i e r (1 und 2) aus freilebenden Algen und Flechtensporen eine recht grosse Anzahl synthetischer Flechten zu erzielen, unter denen viele sowohl morphologisch wie anatomisch den in der Natur vorkommenden Flechten vollständig ähnlich waren. Auch nach diesen Versuchen kann ein und dieselbe Algenspezies zur Synthese von verschiedenen Flechtenarten verwandt werden. So wurde »*Protococcus viridis*» zur Synthese von *Physcia parietina*, *Ph. stellaris* und *Parmelia acetabulum* verwandt, sowie »*Pleurococcus vulgaris*» zur Synthese von *Lecanora sophodes*, *L. ferruginea*, *L. subfusca*, *L. coilocarpa* und *L. cæsio-rufa*, *Trentepohlia* ebenso zur Synthese von *Opegrapha vulgata*, *Graphis elegans* und *Verrucaria muralis*.

Alle obengenannten Untersuchungen scheinen ganz eindeutig zu beweisen, dass die Flechten, was die Art der Gonidienalge betrifft, nicht sehr wählerisch sind, sondern dass eine bedeutende Anzahl von verschiedenen Flechtenarten mit ein und derselben Algenspezies zurechtkommen kann. Keiner von diesen Versuchen erfüllt jedoch die Bedingungen, die heutzutage an eine Reinkultur gestellt werden müssen. Eine eingehendere Kritik derselben findet man bei C h o d a t

(5), weswegen ich hier auf eine solche verzichten kann. Hier mag nur hervorgehoben werden, dass es oft unmöglich ist zu sagen, was für eine Algenart die verschiedenen Autoren jeweilig mit einer »*Cystococcus*», »*Pleurococcus*» und »*Protococcus*» gemeint haben. Dem sei jedoch wie es will, soviel muss man aber jedenfalls zugeben, dass der Behauptung, ein und dieselbe Algenspezies, sie mag in der Wirklichkeit heissen wie sie will, könne in verschiedenen Flechtenarten als Gonidie vorkommen, nicht alle Berechtigung abgesprochen werden kann.

Eine nähere Untersuchung der Flechtengonidien wurde erst möglich, als Beyerinck 1890 die Methode der Agar- und Gelatinekulturen auf dem Gebiete der niederen Algen einführte. Dadurch wurde sogleich die Aufmerksamkeit auf die Ernährungsphysiologie und die Entwicklung der Algen gelenkt. Beyerinck selbst behauptete, dass die Gonidien von *Physcia parietina* Pepton-Organismen seien, welche Ammoniumsalze und Nitrate als Stickstoffquellen nicht benutzen könnten. Er hob gleichfalls hervor, dass die Gonidienalge nicht ganz mit der Definition Nägeli's von *Cystococcus humicola* übereinstimmte. Doch kommt er schliesslich zu der Auffassung, dass seine Alge mit der von Famintzin und Baranetzky beschriebenen identisch sei. Der von Beyerinck angewiesene Weg wurde dann von Artari (2, 3, 4, 6,) weiter befolgt. Auf Grund ernährungsphysiologischer Untersuchungen behauptet er, dass es einen Unterschied zwischen der aus *Xanthoria parietina* isolierten *Chlorococcum infusionum* und der entsprechenden freilebenden Alge gäbe, indem die Flechtengonidien (4, s. 9) »ganz klar und scharf ausgesprochene Peptonalgen» seien, während die freilebende Alge besser mit anorganischer Stickstoffquelle gedeihe. Es würde sich demnach um zwei physiologische Rassen von *Chlorococcum infusionum* handeln. Hierdurch schien also die Auffassung von der vollständigen Identität der Flechtengonidien mit einer freilebenden Alge erschüttert zu sein. Die Behauptung Artari's aber wurde von Treboux bestritten, der hervorhob, dass die *Xanthoria*-Gonidie keine *Chlorococcum* sei, sondern eine von dieser schon

morphologisch unterscheidbare Alge, die er *Cystococcus* Nägeli nennt, obgleich die Beschreibung von Nägeli nicht völlig auf sie passt. Treboux behauptet weiter, dass die Gonidien vollständig mit der freilebenden Alge identisch seien: »Die freilebende *Cystococcus humicola*, um auf die Frage nach den zwei physiologischen Rassen zurückzukommen, zeigt nun in allen Beziehungen ganz dasselbe Verhalten wie die *Xanthoria*-Gonidien. Während zahlreicher Versuche, die im Laufe mehrerer Jahre über die Ernährung der Algen mit verschiedenen Stickstoff- und Kohlenstoffquellen, den Einfluss verschiedener äusserer Bedingungen u. s. w., angestellt wurden, habe ich diesen Punkt stets im Auge gehabt und streng parallele Versuche gemacht. Änderungen im Verhalten zu den Stickstoffquellen liessen sich durch fortgesetzte Kultur nicht erzielen. Sowohl die Gonidienalge, als auch die freilebende, liessen sich mit gleichem Erfolge zur Synthese der Flechte mit dem Flechtenpilze von *Xanthoria parietina* in Reinkultur auf Agar verwenden.» Es scheint somit jetzt festgestellt zu sein, dass dieselbe Alge sowohl frei in der Natur, als auch als Gonidie in der Flechte *Xanthoria parietina* vorkommt. Damit wurde aber auch stillschweigend angenommen, dass die *Cystococcus*-Gonidien der verschiedenen Flechtenarten überhaupt miteinander identisch seien Hierfür fehlte jedoch jeder Beweis.

Schon 1899 berichtet Hedlund über eine grössere Anzahl verschiedener Formen der einzelligen Algen, unter welchen auch Flechtengonidien miteinbegriffen sind. Er verzichtet ganz auf eine Nomenklatur der »Formen», und bezeichnet sie nur mit Buchstaben und Nummern. Es ist jedoch nicht möglich sich auf Grund seiner kurzen Beschreibungen eine klare Auffassung über den systematischen Wert dieser »Formen» zu bilden. Seine eigenartige Methode, nach der die Entwicklung der einzelnen Algenindividuen eine längere Zeit mikroskopisch verfolgt werden kann, ist in mancher Beziehung beachtenswert. Sie ist keine Reinkulturmethode im modernen Sinne, weil ja dabei Bakterien und andere fremde Organismen nicht notwendigerweise ausgeschlossen werden. Jedoch wird durch die Verfolgung

der Entwicklung der Individuen der Mangel an wirklichen Reinkulturen teilweise ersetzt. Auf diese Weise hat nun Hedlund die Gonidie von *Xanthoria parietina* kultiviert und ihre Entwicklung untersucht (1 und 2). Dieselbe Alge, die er vorläufig die »*Xanthoria*»-Alge» nennt, kommt nach ihm (2) im Thallus der meisten höheren Flechten, wie *Usnea*, *Alectoria*, *Ramalina*, *Cetraria* und mehrerer *Lecidéen* und anderer Krustenflechten vor. Auch freilebend in der Natur soll sie allgemein verbreitet sein, wie an den Stämmen und Zweigen von *Sorbus*, *Tilia*, *Ulmus* und anderen Bäumen. Diese Alge ist nach Hedlund oft mit *Cystococcus humicola* Nägeli verwechselt worden, die eine von ihr ganz verschiedene, am Boden und an der Basis von Baumstämmen vorkommende Alge ist. Sie hat mit der letzteren die kugelige Form, den wandständigen Kern und das zentrale Pyrenoid gemeinsam, unterscheidet sich aber von ihr u. a. durch ihr Vermögen Schwärmer zu bilden, während die *Cystococcus humicola* sich nur durch unbewegliche »Gonidien» vermehren kann. Aus diesen Gonidien sollen auch zellige Körper, wie *Hormidium parietinum* und *Prasiola crispa*, hervorgehen können. Es scheint mir, dass es sich hier um ähnliche Algen handelt, wie Chodat sie in seiner Arbeit »Polymorphisme des algues» (4) unter dem Namen *Pleurococcus* beschrieben hat. Dem sei wie es will, hier ist es jedenfalls von Intresse, dass nach Hedlund die ebenfalls mit der *Cystococcus humicola* verwechselte *Cladonia*-Gonidie von der *Xanthoria*-Alge verschieden ist. Hedlund (2, S. 50) nennt sie die »*Cladonia*-Alge», »weil sie aus den Phyllocladien einer *Cladonia* leicht rein zu erhalten ist». »Frei in der Natur kommt sie am oder nahe am Boden vor. Sie ist auch für eine schnellere Eintrocknung weit empfindlicher als die *Xanthoria*-Alge. — — Die Entwicklung der *Cladonia*-Alge ist einfach. Vermehrung durch Teilung fehlt. Alle Individuen können, wenn sie frei wachsen, Schwärmer bilden». Diese recht kurze Beschreibung Hedlund's scheint mir von grosser Bedeutung zu sein, wenn man sie mit dem zusammenstellt, was über die *Cladonia*-Gonidien später mitgeteilt wird. Die alten *Cystococcus*-Gonidien sind also jetzt in zwei Formen zerfal-

len: die »*Xanthoria*-Alge» und die »*Cladonia*-Alge» Hedlund's. Aber Hedlund macht noch eine Andeutung dahin, dass auch die *Xanthoria*-Alge nicht eine ganz einheitliche Art sei. Die aus *Ramalina farinacea* isolierte Form soll nämlich im Gegensatz zu den aus anderen Flechten isolierten *Xanthoria*-Algen keine Schwärmer gebildet haben. Hedlund hat sogar aus ein und derselben Flechtenart mehrere verschiedene Algenformen isoliert, so z. B. zwei aus *Peltigera aphtosa* und vier aus *Lecidea lucida*. Damit ist aber noch nichts darüber gesagt, ob diese Algen zu den Gonidien der genannten Flechten gehören. Es handelt sich wahrscheinlich um epiphytische Algen, von denen später bei der Besprechung der Chodat'schen Arbeit die Rede sein soll.

Wenn man nun schon infolge der Hedlund'schen Untersuchungen die Frage aufwerfen kann, ob man nicht auch im Allgemeinen zwischen den, bei äusserlicher Betrachtung einander so ähnlichen Gonidien der verschiedenen Flechtenarten bei näherer Untersuchung Differenzen entdecken könnte, so muss man infolge der Untersuchungen von Chodat (5) noch weiter gehen und sich fragen, ob es überhaupt bei zwei verschiedenen Flechtenarten identische Gonidien gibt? Chodat hat zum Teil allein, zum Teil mit dem Beistand seiner Schüler Gonidien aus *Cladonia*-, *Solorina*- und *Verrucaria*-Arten isoliert und rein gezüchtet. Er bediente sich dabei der folgenden Methode: Die in sterilisiertem Wasser sorgfältig ausgewaschene und gespülte Flechte wurde in sterilisiertem Mörtel zermahlt, wodurch man eine Emulsion von den Gonidien und den Flechtenstücken erhielt. Von dieser Emulsion wurden Verdünnungen hergestellt, mit denen Impfungen auf Detmer-Agar ohne Zucker ausgeführt wurden. Es bedurfte einer Zeit von 3 bis 4 Monaten, ehe man Kolonieen von hinreichender Grösse für eine Wiederimpfung erzielte. Meistens erhielt man auf diese Weise Kulturen von ganz fremden Algen, die epiphytisch auf den Flechten lebten, wie *Stichococcus*, *Heterococcus*, *Chlorella*, *Pleurastrum*, *Raphidonema*, *Palmellococcus* u. s. w. Es war eine schwierige und zeitraubende Aufgabe, Rein-

kulturen von den Gonidien zu gewinnen. In neun Fällen von zehn erhielt man fremde Organismen, die schneller als die Gonidien wuchsen. Die Gonidien der untersuchten *Cladonia*-Arten waren nun »i n s i t u» äusserlich miteinander ganz identisch. C h o d a t sagt selbst hinsichtlich dieser Frage (l. c. S. 195): »Rien ne parle en faveur de l'idée qu'il pourrait y avoir chez ces lichens énumerés plusieurs espèces.» Die Reinkulturen auf Agar und Gelatine zeigten jedoch Differenzen zwischen den Gonidien der verschiedenen *Cladonia*-Arten. Die Gonidien der *Cladonia furcata* und *Cl. pyxidata* wichen voneinander durch Schnelligkeit des Wachstums und Farbe der Kolonieen ab. Diese Unterschiede verschwanden mit der Zeit bei der Kultur, tauchten jedoch bei jeder neuen Impfung wieder auf. Aus diesem Grunde hält C h o d a t sie für zwei Varietäten oder Rassen der Art *Cystococcus Cladoniæ* Chod., und gibt ihnen den Namen v. *furcatæ* und v. *pyxidatæ*. Die Gonidie der *Cladonia fimbriata* stellte ihrerseits eine neue Art dar: *Cystococcus irregularis* Chod., die sich von den beiden ersten durch die Unregelmässigkeit ihrer Zellform und die Form der Kolonieen unterschied. Alle diese *Cladonia*-Gonidien stimmen darin überein, dass ihnen die Vermehrung durch Teilung fehlt. Es ist nun auffallend, dass gerade diese Eigenschaft auch für die H e d l u n d'sche »*Cladonia*-Alge», im Gegensatz zur »*Xanthoria*-Alge» charakteristisch war. So wird die Frage geweckt, ob die *Cladonien* überhaupt einen speziellen Gonidientypus besitzen, worauf ich noch zurückkommen werde.

Andere neue Arten der Gattung *Cystococcus* wurden noch als Epiphyten auf Flechten angetroffen, deren eigentliche Gonidien zu ganz anderen Algengattungen gehörten. So wurde *Cystococcus cohærens* Chod. aus *Verrucaria myriocarpa* isoliert, deren Gonidien zur Gattung *Coccobotrys* Chod. gehören, desgleichen *Cystococcus maximus* Chod. aus *Verrucaria purpurascens*. Die Gonidien von *Verrucaria* können ihrerseits epiphytisch auf *Toninia vesicularis* auftreten, die *Cystococcus*-Gonidien besitzt.

Wenn man nun auch infolge der Verschiedenheit der Gonidien bei den verschiedenen *Cladonia*-Arten die Frage

aufwerfen könnte, ob nicht jede Flechtenart ihre spezielle Gonidienart besitzt, so wird das epiphytische Auftreten von *Cystococcus*-Arten Zweifel daran erwecken. Dazu kommt noch, dass in einigen Fällen zwei Exemplare ein und derselben Flechtenart von verschiedener Herkunft zwei verschiedene Rassen der Gonidienalge aufweisen *(Cladonia pyxidata, Solorina saccata)*. Dies scheint, wie auch Chodat bemerkt, für eine gewisse Unabhängigkeit der Flechte von der Gonidienart zu sprechen, jedoch kann es auch so gedeutet werden, dass die fraglichen Flechtenarten selbst verschiedene Rassen besitzen, die je ihre speziellen Gonidien haben.

Die Gonidienfrage ist somit äusserst kompliziert geworden. Wenn wir jetzt für etwaige weitere diesbezügliche Untersuchungen Ziele stecken wollen, so ergeben sich aus dem Voranstehenden folgende Fragen:

1. Haben verschiedene Flechtenarten immer verschiedene Gonidien, oder können sie auch ganz identische Gonidien besitzen?

2. Inwiefern ist eine gegebene Flechtenart an eine bestimmte Gonidienart gebunden?

3. Kann dasselbe Flechtenindividuum mehr als eine Art oder Rasse der Gonidienalge besitzen?

Wie wir gesehen haben, finden sich in den zitierten Arbeiten schon Andeutungen zur Lösung aller obengenannten Fragen. Mit Sicherheit wissen wir aber bisher nur, dass es bei den früher für mit einander identisch gehaltenen Flechtengonidien verschiedene Arten und Rassen gibt, deren Anzahl und Eigenschaften noch nicht übersehen werden können.

Im folgenden will ich über meine eigenen diesbezüglichen Untersuchungen berichten.

II. Methodik.

Chodat hat in überzeugender Weise betont, dass eine moderne Algensystematik nur auf Reinkulturen begründet

werden kann. Insbesonders, wenn es sich um einzellige Algen handelt, kann die blosse mikroskopische Betrachtung der verschiedenen Formen, wie man sie in der Natur findet, oft nicht darüber entscheiden, welchen Arten oder Gattungen sie zuzurechnen sind; dazu muss man von denselben Kolonieen heranziehen. Die Bedeutung derselben drückt C h o d a t in folgenden Worten klar aus (5, S. 7): »Chez les unicellulaires toute la morphologie ne s'arrète pas aux contours de la cellule et à la cytologie. Il y a aussi la morphologie des cultures à examiner. Elles forment des colonies dont chacune a son apparence propre et qui sont par rapport à la cellule isolée comme le peuple à l'individu isolé.» Der Wert der Kolonieen für die Charakteristik der Formen ist mannigfach. In denselben werden kleine Differenzen in den Eigenschaften der Organismen gewissermassen verschärft, insbesonders aber erhalten viele physiologische Eigenschaften der Zellen eine morphologische Erscheinungsform. Sie werden sozusagen aus unsichtbaren in schon äusserlich sichtbare Merkmale umgewandelt. Als Beispiel mag die Geschwindigkeit des Wachstums dienen, die sich in der Grösse der Kolonieen zeigt. Durch die Kolonieen kann man also auch morphologisch sehr ähnliche Arten von einander unterscheiden. Es ist aber oft vonnöten, die Algen auf verschiedenen Nährsubstraten zu kultivieren, denn viele Arten, welche auf einem gegebenen Substrate als identisch erscheinen, können auf einem anderen Differenzen aufweisen. So verhält es sich nach C h o d a t z. B. mit den *Stichococcus*-Arten, die auf peptonhaltigem Substrate einander sehr ähnlich sind, die jedoch Verschiedenheiten aufweisen, wenn sie auf Gelatine oder Glukose-Agar ohne Pepton geimpft werden. Durch die Anwendung geeigneter Nährmedien wird man im Stande sein, die Algen in ihre elementaren Arten einzuteilen. Eine so feine Analyse der Arten erfordert nun unbedingt eine vollkommene Reinheit des Ausgangsmaterials. Der Begriff »Reinkultur» ist aber im Laufe der Zeiten vielfach verschieden aufgefasst worden. Fast jeder Forscher behauptet, mit Reinkulturen gearbeitet zu haben, obwohl aus ihren Besprechungen deutlich hervorgeht, dass insbesonders Bakte-

rien oft gegenwärtig gewesen sind. Wenn man die einzelligen Organismen an ihren elementaren Arten untersuchen will, so müssen die Kulturen aus einzelnen Zellen hergeleitet werden. Solche Kulturen sind jedoch von den Algen nur selten hergestellt worden. Zumstein scheint von *Euglena gracilis* absolute Reinkulturen gewonnen zu haben. L. c. S. 157 steht ausdrücklich: »der Ausgangspunkt, wenigstens für die erste wirklich reine Kultur, muss eine einzige Zelle sein.» Andreesen hat die Kapillarmethode bei den *Desmidiaceen* angewandt, jedoch ohne dass es ihm gelungen wäre, bakterienfreie Kulturen zu erhalten. Pringsheim (3) hat ebenfalls versucht, *Euglenen* mit der Kapillarpipette zu isolieren, aber auch ihm gelang es nicht, die Algen von Pilzen zu befreien. Dagegen erhielt er durch die Koch'sche »Plattengiessenmethode» absolute Reinkulturen von *Hæmatococcus pluvialis* (2), indem er Schwärmer derselben benutzte. Chodat hält die Hansen'sche Methode für die Algen für ungeeignet. Bei Besprechung (l. c. S. 28) der Senn'schen *Scenedesmus*-Kulturen sagt er: »Sa méthode d'isoler un germe dans une goutte d'eau est excellente en elle-même, mais cet isolement effectué, il n'est pas de nature à permettre une extension des recherches». Um von der *Palmellococcus variegatus* Kulturen zu erlangen, die einer Zelle entstammten, hat er sich folgender Methode bedient:

Eine kleine Menge von Zellen wird in sterilisiertem Wasser verteilt, wobei die Zellen sich von einander trennen. Giesst man etwas von dieser Vermischung auf festes Nährsubstrat, so erhält man zahlreiche Kolonieen, die in genügender Weite von einander liegen, um je auf eigenes Substrat übergeführt zu werden. Chodat gibt jedoch zu, dass sich die Zellen hierdurch nicht notwendigerweise von einander trennen, sondern dass sie zuweilen an einander haften bleiben können. In solchen Fällen genügt es, aus den Kolonieen neue Überimpfungen zu machen, »pour que les chances soient en faveur de l'idée que les colonies sont bien les descendants d'une cellule.» Ich habe jedoch mehrmals beobachtet, dass die Zellen einiger *Cystococcus*-Arten oft so fest an einander haften bleiben, dass sie, im Wasser verteilt, sich auch in dieser

Weise nicht von einander lösen. Praktisch kann man wohl auch nach der C h o d a t'schen Methode ganz reine Kulturen erlangen, absolute Sicherheit ist dabei jedoch nicht garantiert [1]).

Meiner Ansicht nach ist die Kapillarmethode für die Flechtengonidien sehr gut anwendbar. Ich bin dabei in folgender Weise verfahren: ein kleines Stückchen der Flechte wird in einem Tropfen sterilisierten Wassers auf dem Objektträger mit sterilen Präpariernadeln zerkleinert, wobei zahlreiche Gonidien frei werden. Aus diesem Tropfen werden dann mit einer sterilen Glaskapillare unter dem Mikroskope einige frische Gonidien ausgewählt und in einen anderen sterilen Tropfen gebracht. Auch von hier werden in derselben Weise einzelne Gonidien herausgenommen und durch zwei oder drei reine Tropfen durchgeführt, bis man sich davon überzeugen kann, dass man nur eine Zelle in der Glaskapillare hat. Eine in dieser Weise isolierte Gonidie kann man direkt auf das Nährsubstrat überführen, und sie wird in der Regel frei von Bakterien sein. Es ist praktisch, eine grössere Anzahl Glaskapillaren von verschiedener Dicke bei der Hand zu haben und kurz vor dem Gebrauch die Spitzen in einer Gasflamme so fein wie nötig auszuziehen. Auch ist zweckmässig zuerst etwas sterilisiertes Wasser in die Kapillare einzusaugen, ehe man die Gonidie eintreten lässt. Oft gehen die isolierten Zellen auf dem Nährsubstrate zu Grunde. Es kann dies darauf beruhen, dass die betreffenden Zellen schwach oder sogar tot waren. Wenn man aber mehrere Kulturen von den Gonidien herstellt, werden in der Regel immer einige am Leben bleiben. Um jedoch ein solches Misslingen der Kulturen schon von vornherein zu verhindern, habe ich oft mehrere Gonidien zusammen oder mit kleinen Schnitten oder Stückchen der Flechten, an denen sie sitzen, zuerst in hängenden Tröpfchen in feuchten Kammern kultiviert, wobei nur die lebenskräftigen Zellen isoliert und auf das Nährsubstrat übergeführt wurden.

---

[1]) H o l m (1891) hat experimentell bewiesen, dass diese von K o c h eingeführte Methode keine sichere Reinkulturen liefert.

Die Kultur in hängenden Tröpfchen habe ich ausserdem ganz allgemein angewandt, um die Entwicklung der Algen verfolgen zu können. Die Objektträger, mit den auf ihnen sitzenden Glasringen, sowie die Deckgläser werden vor dem Gebrauche in der Gasflamme sterilisiert. Dann wird ein Tröpfchen der sterilen Nährlösung mit einer Glaspipette vorsichtig auf das Deckgläschen gebracht. Das Tröpfchen muss so klein sein, dass es nicht beim Auflegen des Deckglases auf den Glasring verschoben wird. Die Deckgläser müssen sehr rein sein, weil die Algen äusserst empfindlich sind, und ausserdem auch sterilisiert. Die fertigbeschickten »feuchten Kammern» werden in feuchter Luft unter einer Glasglocke aufbewahrt. Sehr lästig können für diese Kulturen die Schimmelpilze sein. Von aussen her dringen sie in die sonst sterilen feuchten Kammern ein und verderben die Kulturen. Wenn man sie zeitig genug entdeckt, kann man die Tröpfchen mit den Gonidien mit der Pipette in neue sterile Kammern überführen. Es ist klar, dass eine solche Kulturmethode sehr umständlich ist, jedoch wird ohne sie eine vollständige Kenntnis der Entwicklung der Algen nicht möglich sein.

Als Nährlösung für die Kultur in hängenden Tröpfchen kann ich folgende empfehlen, derer ich mich hauptsächlich bedient habe:

Traubenzucker	1,0 %
$Ca(NO_3)_2$	0,025 »
$Mg SO_4$	0,025 »
$KH_2 PO_4$	0,05 »
$Fe_2 Cl_6$	0,00067 %

Die Reaktion der Lösung ist schwach sauer, was einer Entwicklung der Bakterien gewöhnlich hinderlich ist. Sollten also bei Überführung in die Nährtröpfchen auch Bakterien an den Gonidien haften geblieben sein, so würde man aus den Schwärmern jedoch bakterienfreie Individuen erhalten.

Das Wachstum der Gonidien ist sehr langsam. Es vergeht ca. ein Monat, bis die auf Agar überführten Zellen Kolonieen von solcher Grösse erzeugen, dass sie mit blossem Auge

wahrgenommen werden können, und drei bis vier Monate, ehe man sie auf neue Substrate überimpfen kann.

III. Entwicklung der Gonidien mit verschiedenen Stickstoffquellen.

A. *Orientierende Versuche.*

Der erste Zweck meiner Arbeit war zu untersuchen, ob man bei *Cystococcus*-Gonidien, die von verschiedenen Flechtenarten isoliert waren, ernährungsphysiologische Differenzen auffinden würde. Zum Vergleich wurden auch zwei andere Gattungen der Gonidienalgen zur Kultur genommen. Der Ausgangspunkt der Kulturen war teils eine Zelle, teils mehrere Zellen der betreffenden Gonidien, welche also teils als Klonen, teils als Populationen kultiviert wurden. Es wurden Gonidien folgender Flechtenarten untersucht:

Cystococcus-Gonidien:

Alectoria implexa (Hoffm.) .... (Klone)
Gyrophora flocculosa (Wulf.) .... (Population)
Physcia ciliaris (L.) .... (Klone)
» *pulverulenta* (Schreb.) (Population und Klone)
Parmelia furfuracea (L.) .... (Klone)
Ramalina fraxinea (L.) .... (Population)
Xanthoria parietina (L.) .... (Klone)

Coccomyxa-Gonidien:

Peltigera aphthosa (L.).................. (Klone)

Hyalococcus (nov. gen.)-Gonidien:

Dermatocarpon miniatum (L.) .... (Klone)

Die ernährungsphysiologischen Differenzen sollten am Verhalten zu den Stickstoffquellen geprüft werden. Als Substrat wurde Agar verwandt. Die Zusammensetzung des

Nährbodens war folgende:

Aq dest.	1000 ccm
Agar	15 g
Traubenzucker	20 »
$KH_2 PO_4$	0,5 g
$Mg SO_4$	0,25 »
$Ca Cl_2$	0,25 »
$Fe_2 Cl_6$	Spuren
Stickstoffquelle	5 g.

Als Stickstoffquellen wurden folgende Stoffe gewählt: A. Organische: Pepton »Witte», Asparagin, Alanin, Acetamid, Glycocoll, Leucin, Harnstoff; B. Anorganische: Calciumnitrat, Ammoniumnitrat, Ammoniumchlorid. C. Zur Kontrolle wurde eine Kulturserie ohne Stickstoffquelle belassen.

Das ganze Nährsubstrat wurde in demselben Gefässe hergestellt, so dass es möglichst homogen war. Ungefähr gleiche Mengen desselben wurden in bei 165° C trocken sterilisierte Probierröhrchen eingegossen, die mit Wattestopfen verschlossen, im Autoklav bei 1 ½ Atm. Druck sterilisiert und in schiefer Stellung zu erstarren gelegt wurden.

Zum Impfen wurden von den Ausgangskulturen gleich grosse Algenmassen in sterilisiertem Wasser verteilt. Von jeder Mischung wurden mit einer Glaspipette gleiche Mengen in die Probierröhrchen auf Nähragar übergeführt. Von jeder Gonidienart wurden je drei Parallelkulturen mit derselben Stickstoffquelle hergestellt. Die Probierröhrchen wurden dann an wagerecht gespannte Eisendrähte gehängt und an ein nach Süden gelegenes, durch ein weisses Tuch beschirmtes Fenster aufgestellt.

Zum Nachweis einer möglichen Infektion wurden einige Probierröhrchen auf einen Monat in das Thermostat bei 25° C gestellt. Nur eines erwies sich von Bakterien infektiert. Von den an's Licht gestellten Probierröhrchen waren nur zwei infektiert. Im Ganzen waren also nur drei von den 297 Probierröhrchen von Bakterien angegriffen. Dass die Bakterien

nicht von den Gonidien maskiert sein konnten, geht daraus hervor, dass sie später sich auch in den Kulturen, wo die Algen schon gestorben waren, nicht entwickelten.

Anfangs wuchsen die Gonidien von *Physcia pulverulenta* schneller als alle die anderen, während die von *Gyrophora flocculosa* nur sehr langsam zunahmen. Die *Ramalina*-Gonidien wollten überhaupt nicht wachsen, was darauf beruhte, dass das Ausgangsmaterial zum Teil schon gestorben war. Später jedoch fingen auch sie an zu wachsen.

In der beigefügten Tabelle (S. 18) ist das Resultat, wie es nach 33 Tagen vortrat, angegeben. Die drei Parallelkulturen ein und derselben Gonidienart waren immer übereinstimmend. Die Differenzen zwischen den verschiedenen Gonidien in Bezug auf die Wachstumsgeschwindigkeit sind dadurch etwas ausgeglichen worden, dass die *Xanthoria*- und *Parmelia*-Gonidien die Wachstumsgrösse der *Physcia*-Gonidien erreicht haben. Die Ziffern bezeichnen das relative Wachstum ein und derselben Gonidienart bei verschiedenen Stickstoffquellen. Das Verhältnis zwischen den Wachstumsgrössen der verschiedenen Gonidien, wie es sich in den Asparaginkulturen zeigte, ist durch einen Bruch ausgedrückt, bezogen auf die Wachstumsgrösse der *Physcia pulverulenta*-Gonidien als Einheit. Die Gonidien von *Dermatocarpon* und *Peltigera* sind wegen ihrer verschiedenen Wachstumsweise nicht mit den anderen verglichen worden, ebenso die *Ramalina*-Gonidien wegen ihres verspäteten Wachstums. Es bedeuten: 3 = gutes Wachstum; 2 = mässiges Wachstum; 1 = spärliches Wachstum; (+) = kaum merkbares Wachstum; — = kein Wachstum; (±) = das anfangs sehr spärliche Wachstum hat ganz aufgehört.

Man sieht aus der Tabelle, dass die verschiedenen Gonidien bedeutende Differenzen aufweisen. Die Gonidien von *Physcia pulverulenta*, *Xanthoria parietina* und *Parmelia furfuracea* sind bei weitem am besten gediehen, während das Wachstum der Gonidien von *Alectoria implexa*, auf dasselbe der ersteren bezogen, nur $1/2$, das der *Physcia-ciliaris*-Gonidien ca. $1/5$—$1/6$ und das der *Gyrophora flocculosa*-Gonidien ca. $1/6$—$1/7$ beträgt.

Ergebnis der 33 Tage alten Agarkulturen												
Gonidie von:	Stickstoffquelle											
		Asparagin	Alanin	Glycocoll	Pepton	Leucin	Harnstoff	Acetamid	ca $(NO_3)_2$	NH_4 NO_3	NH_4 Cl	Fehlt
Physcia pulverulenta .	1	3	3	3	1	1	—	2	1	2	1	(±)
» ciliaris.	1/5—1/6	3	3	3	1	1	-	1	1	3	3	(±)
Alectoria implexa . . .	1/2	3	3	3	2	1	—	(±)	1	2	1	(±)
Gyrophora flocculosa .	1/6—1/7	3	2	2	1	1	—	1	1	1	1	(+)
Xanthoria parietina . .	1	3	3	2	1	1	—	1	1	2	2	(±)
(Ramalina fraxinea) . .	—	1	2	2	1	2	—	1	1	2	2	1
Parmelia furfuracea . .	1	3	3	2	1	1	—	1	1	1	1	(+)
(Dermatocarpon min.) .	—	3	3	3	2	2	—	(+)	3	3	3	1
(Peltigera aphthosa) . .	—	3	3	3	2	2	—	(+)	3	3	3	1

Auch das Verhalten zu den verschiedenen Stickstoffquellen ist bei den verschiedenen Gonidien etwas abweichend.

Die Kulturen durften jedoch noch einen Monat weiter wachsen, worauf sie photographiert wurden (Taf. IV—IX.).

Die Differenzen zwischen den verschiedenen Gonidien waren nun in hohem Grade ausgeglichen. Das Resultat fiel entschieden zu Gunsten der organischen Stickstoffquellen Asparagin, Alanin und Glycocoll aus, welche bei den meisten Arten das Wachstum am besten förderten. Pepton war viel schlechter. Dieses Ergebnis steht also im Widerspruch zu den Behauptungen Beyerinck's und Artari's, wonach die Flechtengonidien Peptonorganismen seien. Harnstoff erwies sich als Stickstoffquelle ganz ungeeignet, ja sogar schädlich (vielleicht hat auch seine Zersetzung beim Kochen schädlich gewirkt). In den Kulturen ohne Stickstoffquelle machte sich anfangs ein schwaches Wachstum bemerkbar, das aber allmählich stille stand.

Auf Acetamid zeigten die verschiedenen Gonidien bedeutende Differenzen. Die Gonidien von *Physcia pulverulenta*

wuchsen hier viel besser als die anderen, während die von *Alectoria implexa* überhaupt nicht wuchsen (das anfangs sehr spärliche Wachstum hörte allmählich ganz auf). Weil alle drei parallelen Probierröhrchen mit ein und derselben Gonidienart ein übereinstimmendes Resultat ergaben, können diese Abweichungen nicht auf einem Zufall beruhen, vielmehr handelt es sich hier um eine besondere Art oder Rasse, die eben nicht imstande ist, den Stickstoff in der Form von Acetamid aufzunehmen. Dadurch ist jedoch nicht ausgeschlossen, dass sich die Alge vielleicht mit der Zeit an Acetamid gewöhnen könnte.

Ähnliche Ergebnisse hat Pringsheim (1, S. 49) mit den *Oscillarien* gewonnen. So wuchs z. B. *Oscillaria tenuis* sehr gut mit Pepton und Asparagin, während Leucin, Glycocoll und Acetamid ungeeignet waren. Bei *Oscillaria brevis* war das Ergebnis sonst ähnlich, nur war hier auch Glycocoll gut.

Auf Leucin zeigten die *Physcia pulverulenta*-Gonidien wieder ein etwas stärkeres Wachstum als die anderen, sonst war die Ausbeute im allgemeinen gering.

Auf den anorganischen Stickstoffquel en verlief das Wachstum beinahe ähnlich wie auf Leucin und Pepton. Anfangs war es jedoch bisweilen ebenso gut wie auf Asparagin, so z. B. bei der Gonidie von *Physcia ciliaris* (vgl. Tab. S. 18.).

Die Gonidien von *Dermatocarpon miniatum* und *Peltigera aphthosa* wuchsen fast ebenso gut auf Calciumnitrat, Ammoniumnitrat und Ammoniumchlorid wie auf Asparagin und Glycocoll. Auf Pepton und Leucin war das Wachstum etwas schwächer, auf Acetamid kaum merkbar. Auch ohne Stickstoffquelle wurde ein spärliches Wachstum beobachtet.

Die *Cystococcus*-Gonidien der verschiedenen Flechten zeigten auf einigen Stickstoffquellen eine auffallende Differenz in Bezug auf die Farbe der Kolonieen, insbesonders auf Alanin und Leucin.

Hier folgend habe ich die Farbe der Kolonieen in den Alanin- und Leucinkulturen nach Klincksieck und Valette: Code des couleurs (Paris 1908) näher angegeben.

Auf Alanin-Agar:
(Taf. V.)

Gonidien von:	Farbe der Kolonieen:			
Physcia ciliaris	hellgrün	(jaune	vert	276)
» *pulverulenta*	»	(»	»	277—278)
Xanthoria parietina	»	(»	»	276, 281)
Ramalina fraxinea	dunkelgrün	(vert		304—305)
Gyrophora flocculosa	»	(»		303—304)
Alectoria implexa	»	(»		304—305)
Parmelia furfuracea	»	(»		305, 310. 330)

Auf Leucin-Agar:

Gonidien von:	Farbe der Kolonieen:			
Physcia pulverulenta	dunkelgrün	(jaune	vert	280)
Xanthoria parietina	»	(»	»	280 — vert 305)
Ramalina fraxinea	»	(»	»	280)
Gyrophora flocculosa	hellgrün	(»	»	281 — vert 305)
Physcia ciliaris	»	(»	»	278—279)
Alectoria implexa	»	(»	»	282—283, 252—253)

Wir sehen, dass die Intensität der Farbe bei derselben Gonidie auf den obengenannten zwei Nährböden oft die entgegengesetzte ist. Es wäre nun interessant zu erfahren, inwiefern die Farbe der Kolonieen als Merkmal verwandt werden könnte. Ein Verblassen der grünen Farbe ist bei den Algenkulturen schon öfters wahrgenommen. Auf Grund von Beobachtungen, die an *Hæmatococcus*, *Scenedesmus*, *Raphidium*, *Euglenen*, *Cyanophyceen* und anderen Algen gemacht wurden, kommt Pringsheim (1, S. 43) zu der Auffassung, dass eine Verarmung an Chlorophyll unter Hervortreten der gelben bis roten karotinartigen Farbstoffe

bei Algen vielfach dann stattfindet, »wenn durch eine reichliche Vermehrung der Vorrat an verfügbaren Nährstoffen, besonders Stickstoffsubstanzen knapp wird.»

Nach C h o d a t (5, l. c. S. 90—91) scheint das Verblassen bei *Chlorella vulgaris* auf ein schlechtes Gleichgewicht zwischen der gleichzeitigen Assimilation von Zucker und Stickstoff zurückzuführen zu sein. Beobachtungen an der genannten Alge zeigten u. a., dass die Farbe, deren Verblassen auf glukosehaltigem Nährboden wahrgenommen wurde, sich auf Glukose-Agar mit Pepton dunkelgrün erhielt, ebenso jedoch auch auf Agar ohne oder mit nur wen g assimilierbarem Zucker, wie Laktose. Eine gute Kohlenstoffquelle erfordert demnach auch eine gute Stickstoffquelle um eine normale Chlorophyllbildung zu gestatten. Dies ist nun wohl ganz richtig, die Frage ist jedoch damit noch nicht ganz erschöpft. Ich habe nämlich an den Kolonieen einiger *Cystococcus*-Arten eigenartige Veränderungen festgestellt, die darauf hinweisen, dass hier noch andere Faktoren mitspielen. Es kommt nämlich vor, dass ursprünglich hellgrüne Kolonieen nachträglich dunkelgrün werden, also eine dem Verblassen der alten Kulturen entgegengesetzte Erscheinung aufweisen. Mikroskopisch untersuchte Kolonieen von den Gonidien der *Physcia obscura*, die teils schwarz, teils hellgrün waren, gaben an die Hand, dass die hellgrünen Teile aus blassgrünen Zellen bestanden, die sich hauptsächlich durch Schwärmsporen vermehrten, während die schwarzgrünen Teile reichlich intensiv grüne vegetative Teilungsstadien enthielten. Bei eben stattfindender Veränderung der Farbe fällt der Kontrast zwischen den blassen und den dunkelgrünen Zellen in die Augen und macht den Eindruck einer unmittelbaren Umwandlung. Ein ähnliches Verhalten zeigten die Gonidien von *Alectoria jubata* (vgl. S. 53). Die Kolonieen auf Asparagin-Agar, die sich über drei Monate (von Oktober bis Ende Januar) hellgrün erhielten, begannen von da an schwarzgrün zu werden und in zwei Wochen waren fast die ganzen Kolonieen schwarzgrün geworden. Gleichzeitig mit dem Dunkelwerden wurde ein reichliches Auftreten von vegetativen Teilungsstadien beobachtet, während die Gonidien in dem hellgrünen Stadium

sich vorwiegend durch Sporangien mit gerundeten, oft sogar freien Autosporen vermehrten. Diese Vermehrungsweise ist hier vielleicht als eine Schwärmsporenbildung anzusehen, wobei es nicht zur vollständigen Entwicklung der Schwärmsporen kommt, sondern die Protoplasmateilchen sich frühzeitig abrunden und mit eigener Membran umgeben. Die Farbe scheint demnach in irgend einer Beziehung zu der Vermehrungsweise der Gonidienalge zu stehen. Von einer direkten Abhängigkeit derselben von der Art und Menge der Stickstoffquelle kann in diesem Falle nicht die Rede sein.

Parallele Kulturen von *Xanthoria*-Gonidien behielten während derselben Zeit ihre ursprüngliche dunkelgrüne Farbe, ebenso dieselbe Vermehrungsweise durch vegetative Teilungsstadien. Die Tatsache, dass diese zwei verschiedenen Gonidienarten, welche sich unter ganz denselben äusseren Verhältnissen entwickelt hatten, sich bezüglich der Farbe verschieden verhielten, beweist, dass die Farbe auch von der Art der Gonidien abhängig ist. Was aber die Beziehung der Farbe zur Vermehrungsweise der Gonidien betrifft, so ist sie vielleicht so zu verstehen, dass eine rege vegetative Vermehrung auf einer kräftigeren Lebenstätigkeit, etwa Nahrungsaufnahme, beruht, was in Verbindung mit anderen Faktoren speziell eine lebhaftere Stickstoffassimilation bewirkt und dadurch die intensivere Färbung hervorruft. Dass irgend eine Beziehung zwischen den drei Dingen: Färbung, Ernährung und Vermehrungsweise der Algen besteht, beweisen auch die Untersuchungen von F r e u n d, wonach stickstoffhaltige Stoffe, wie Nitrate, Nitrite und Ammoniumsalze gleichzeitig mit der Förderung der Schwärmsporenbildung eine Verarmung an Hæmatochrom bewirken.

Was nun aber die Anwendbarkeit der Farbe als Art- oder Rassenmerkmal betrifft, so kann darüber nur die Konstanz entscheiden. P r i n g s h e i m (1) ist auf Grund von Reinkulturen der *Oscillaria*-Arten zu der Ansicht gekommen, dass die Form und Farbe der Kolonieen bei jeder Art sich solange als konstant erweist, bis eine schliessliche Verarmung des Nährbodens an Nährstoffen Veränderungen in ihr hervorruft. Wenn dies die Regel wäre, so könnte man wenigstens

bei frischen Kulturen die Farbe für ein Artmerkmal halten. Wir haben jedoch soeben gesehen, dass dies bei den Flechtengonidien nicht immer zutrifft. Die Farbe wird bei einigen Versuchen hellgrün, bei anderen dagegen dunkelgrün ausfallen, ohne dass man immer im Stande wäre, dieses verschiedene Verhalten auf bekannte Ursachen zurückzuführen. Jedoch wird man bei mehrjähriger Kultur vielfach bemerken, dass die Neigung der Kolonieen zur Erzeugung einer bestimmten Farbe für viele Arten charakteristisch sein kann. *Palmellococcus variegatus* stellt z. B. eine Alge dar, die sich dadurch kennzeichnet, dass sie unter Umständen panaschierte, von farblosen und grünen Teilen zusammengesetzte Kolonieen erzeugt. Unter anderen Verhältnissen aber können die Kolonieen ganz grün oder ganz fabrlos ausfallen. Chodat hat von beiden Farbspielarten Reinkulturen hergestellt, wobei er feststellen konnte, dass sowohl die grünen als die farblosen Zellen nur farblose Kolonieen erzeugen, wenn sie auf Glukose-(2 %) Detmer-Agar geimpft werden, auf demselben Nährboden aber, nach Zusatz von 0.8 % Pepton ausschliesslich grüne Kolonieen bilden. Dieses Beispiel zeigt, dass die Farbe der Kolonieen trotz ihrer Variabilität wenigstens bei einigen Arten, bei Erfüllung gewisser Bedingungen, als Artmerkmal dienen kann.

B. Die Kolonieen auf Asparagin- und Alanin-Agar.

Nachdem es mir somit zur Gewissheit geworden war, dass die *Cystococcus*-Gonidien der verschiedenen Flechten mit einander nicht identisch waren, steckte ich mir das Ziel zu versuchen, die Arten und Rassen derselben zu charakterisieren. Die Versuche sollten jetzt so angestellt werden, dass die Eigenschaften der Kolonieen am besten hervortreten würden. Da die Entwicklung der Algen auf Asparagin- und Alanin -Agar eine sehr kräftige war, beschränkte ich mich jetzt auf diese Nährböden. Insbesonders sollte dafür gesorgt

werden, dass sich die Lebensbedingungen für die verschiedenen Gonidien möglichst gleich gestalten. Um eine schönst mögliche Entfaltung der Kolonieen zu gestatten, wurden als Kulturgefässe Petrischälchen gewählt. Diese wurden unter Glasglocken über Wasser in feuchter Luft aufbewahrt, um sowohl das Eintrocknen, als auch Feuchtigkeitsdifferenzen zu vermeiden.

Der Nährboden hatte folgende Zusammensetzung:

Traubenzucker	1 %
Agar	1.5 %
Asparagin bez. Alanin ...	0.5 %
$KH_2 PO_4$	0.05 %
$Mg SO_4$	0.025 %
$Fe_2 Cl_6$	0.00067 %

Sämtliche verschiedene Gonidien sind aus einer Zelle gezüchtet worden. Die Kulturen beziehen sich also einzig und allein auf Klonen. Die Impfungen werden selbstverständlich aus Massenkulturen gemacht. Um zu erfahren, ob vielleicht das Alter dieser Kulturen für die Entwicklung der Algen von Bedeutung sei, stellte ich spezielle Versuche mit den Gonidien von *Alectoria implexa* an. Diese kennzeichnen sich durch charakteristische flache und glatte Kolonieen. Ich hatte von ihnen zwei Kulturen, von denen die eine (A) ca. 1 1/2 Monate, (31/I—15/III 1917), die andere (B) ca. 3 1/2 Monate (26/XI 1916—15/III 1917) auf Asparagin-Agar in Probierröhrchen gewachsen war. 15/III wurden von beiden auf frischem Asparagin-Agar Impfungen in Petrischälchen vorgenommen, die unter einer Glasglocke in feuchte Luft gesetzt wurden. Von beiden Kulturen wurden drei verschieden grosse Impfflecken gemacht, um auch den Einfluss der Impfungsweise zu berücksichtigen. In der A-Kultur war das Verhältnis dieser Flecken zu einander wie 1 : 2 : 2, in der B-Kultur wie 1 : 2 : 6. Nach etwa einem Monat (18/IV) hatten beide Kulturen gleich grosse, glatte, dunkelgrüne Kolonieen gebildet. Nach Verlauf von sieben Monaten (16/X) war die Grösse der Kolonieen, in zwei Richtungen gemessen, in beiden Kulturen folgende (vgl. Tab. S. 28):

A-Kultur: 4×5, 4×5 und 6×6 mm Diam.
B-Kultur: 4½×4 ½, 4×4 ½ und 4×6 mm Diam.

Wir sehen also, dass weder der Unterschied von zwei Monaten im Alter der Stammkulturen, noch die Grösse des Impffleckes einen sichtbaren Einfluss auf die Grösse der Kolonieen ausgeübt hat. Hier muss allerdings bemerkt werden, dass es sich immer nur um ganz kleine Impfflecken handelt. Demnach wird der Einfluss der Grösse des Impfflecks von dem der spezifischen Wachstumsgeschwindigkeit der Alge weit übertroffen.

Diese Tatsache ist von grosser Bedeutung, wenn man vergleichende Untersuchungen mit den Algen ausführen will. Bei den von mir angestellten Kulturversuchen mit Gonidien wurden fast immer in jeder Petrischale drei Beimpfungen gemacht, um auf den etwaigen Einfluss der Impfungsweise Rücksicht zu nehmen.

Wenn nun also der Altersunterschied innerhalb gewisser Grenzen auch nicht in bedeutendem Massstabe die Ergebnisse der Versuche beeinflusst, so zog ich es jedoch der Sicherheit halber vor, Kulturen von gleichem Alter für die Versuche herzustellen. Zu diesem Zweck wurden alle verschiedenen Gonidien gleichzeitig, 1/III 1917 auf frischen Asparagin-Agar übergeführt und bis zum 13—15/III wachsen gelassen. Von eben diesen Kulturen wurden dann die schliesslichen Überimpfungen gemacht.

Ich habe die Gonidien folgender Flechten in Parallelkulturen untersucht:

Alectoria implexa (Hoffm.)
Cetraria pinastri (Scop.)
Cladonia coccifera (L.)
» *cornuta* (L.)
» *deformis* (L.)
» *gracilis* (L.) *v. chordalis*
» *macilenta* (Hoffm.)
» *rangiferina* (L.)
Lecanora subfusca (L.)
Lecidea fuliginea (Ach.)
Peltigera aphthosa (L.)
Physcia ciliaris (L.)
» *obscura* (Ehrh.)
» *stellaris* (L.)
Ramalina fraxinea (L.)
Xanthoria parietina (L.)

Nachträglich habe ich noch einige andere Gonidien kultiviert, von denen bei Besprechung der einzelnen Arten die Rede sein wird.

In der Tab. S. 27 sind die Impfungsdaten der zu vergleichenden Kulturen angeführt. Die erste Spalte gibt an, von wo aus die Gonidien auf dem vorigen Nährboden gewachsen sind, ehe sie in den, in der zweiten Spalte genannten Probierröhrchen behufs Erzielung gleichaltriger Massenkulturen beimpft wurden. Am 13—15/III wurden die Gonidien in Petrischälchen auf Asparagin-Agar übergeführt, desgleichen am 22/III auf Alanin-Agar. Am 1/III und 25/IV wurden aus ihnen Dunkelkulturen hergestellt, zu denen Probierröhrchen verwandt wurden. Einige Petrischalenkulturen stammen vom 27/I her. Das Wachstum dieser Kulturen habe ich dann während mehrerer Monate verfolgt. Die Ergebnisse hinsichtlich der Eigenschaften der Kolonieen stützen sich also auf Kulturen unter verschiedenen Lebensbedingungen: feuchte Luft, trockene Luft, Licht und Dunkelheit.

Die Anwendung der Petrischalen wird dadurch etwas erschwert, dass diese dem Eindringen von Schimmelpilzen in hohem Grade ausgesetzt sind. Dies kann man in gewissem Grade vermeiden, wenn man die äusseren Ränder der Schalen mit einer alkoholischen Borsäurelösung bestreicht. Insbesonders muss man dieselben vor einem unnötigen Verschieben der Deckel hüten, weil die Keime der Pilze leicht mit der Luft in die Schalen eindringen. Die Beimpfung muss daher möglichst vorsichtig ausgeführt werden.

Die Ergebnisse der Petrischalenkulturen gehen aus der beigefügten Tabelle S. 28 sowie aus den Photographieen hervor (Taf. II). Die Durchmesser der Kolonieen sind in zwei gegen einander senkrechten Richtungen gemessen. Die Kulturen auf Asparagin- resp. Alanin-Agar sind mit »Asp.« resp. »Al.« bezeichnet.

Nach Verlauf eines gewissen Zeitraumes tritt in den Kulturen eine Hemmung des Wachstums ein. Nach Chodat geschieht dies nach 1—3 Monaten; es handelt sich dann wohl um in trockener Luft aufbewahrte Kulturen. Nach meiner Erfahrung ist dieser Zeitraum etwas länger,

Gonidien aus der Flechte:	Die Stammkultur wurde geimpft: (auf Asparagin-Agar)	In Probierröhren auf frischem Agar neugeimpft:	Aus den Probierröhren in Petrischalen geimpft: Auf Asparagin-Agar.	Aus den Probierröhren in Petrischalen geimpft: Auf Alanin-Agar.	Dunkelkulturen auf Asp.-Agar in Probierröhren von:	Weitere Petrischalenkulturen von:	Erlenmeyer-Flaschenkulturen von:	
					1917			
Alectoria implexa	31/I. 1917.	1/III. 1917.	13/III. 1917.	22/III. 1917.	1/III. u. 25/IV.	—	3/III. 17.	21/III. 17.
Cetraria pinastri	2/X. 1916.	»	» » »	»	» »	27/I. 1917.	—	»
Cladonia coccifera. . . .	1/II. 1917.	»	» » »	»	» »	—	3/III. 17.	»
» cornuta	—	»	» » »	»	» »	—	—	»
» deformis	—	»	15 » »	»	» »	—	—	»
» gracilis A. . . .	5/XII. 1916.	»	13 » »	»	» »	—	»	»
» » B. . . .	—	»	» » »	»	» »	—	—	»
» macilenta . . .	11/XII. 1916.	»	» » »	»	» »	—	—	»
» rangiferina . . .	—	»	» » »	»	» »	—	»	»
Lecanora subfusca . . .	20/I. 1917.	»	» » »	»	» »	—	»	»
Lecidea fuliginea	—	»	15 » »	»	27/I. u. »	—	—	»
Peltigera aphthosa . . .	11/II. 1917.	»	13 » »	»	— »	—	—	»
Physcia ciliaris	18/XI. 1916.	»	» » »	»	1/III. u. »	27/I. 1917.	—	»
» obscura	1/II. 1917.	»	» » »	»	» »	»	—	»
» stellaris.	20/I. 1917.	»	» » »	»	» »	—	»	»
Ramalina fraxinea . . .	—	»	» » »	»	» »	27/I. 1917.	»	»
Xanthoria parietina fen.	12/II. 1917.	»	» » »	»	» »	»	»	»
» » holl.	2/XI. 1916.	»	» » »	»	» »	»	»	»

Die Petrischalenkulturen am 16/X. 1917.

Gonidien von	Beimpft	Stickstoff-quelle.	Durchmesser der Kolonieen mm.	Anmerkungen.
Alectoria implexa	13/III.	Asp.	4×5; 4×5; 4×6	Die Kolonieen in allen Kulturen flach, glatt, dun-
» »	15/III.	» A.	4×5; 4×5; 6×6	kelgrün, mattglänzend.
» »	»	» B.	4.5×4.5; 4×4.5; 4×6	
» »	22/III.	Al. *)	10.5×9.5; 10×11; 8×7	Phot. (Taf. II, fig. 8).
Cetraria pinastri	22/III.	» *)	13×14; 12×13; 12×13	Phot. (Taf. II, fig. 6).
» »	25/IV.	Asp.	8×12	Kolonieen dunkelgrün, glänzend; Wachstum auf Alanin etwas besser als auf Asparagin. Kolonieen auf Alanin flach, flachbuckelig, ca. $^1/_2$ mm dick, auf Asparagin höher und glatter, ca. 3 mm dick.
Cladonia coccifera . . .	22/III.	Al.	9.5×9.5; 8.5×9; 9×10	Höhe ca. 3 mm. Hochbuckelige und nervige, dunkelgrüne Kolonieen.
» » . . .	25/IV.	Asp.	12×15; 10×13	Höhe 4—5 mm. Gipfel der Kolonie heller.
» cornuta	22/III.	Al. *)	9.5×10; 8.5×10; 8×8	Höhe ca. $2^1/_2$ mm. Grobbuckelig. Dunkelgrün. (Taf. II, fig. 11).
» »	13/III.	Asp.	8×10; 8×6; 8×5.5	Höhe ca. $2^1/_2$ mm. Grobbuckelig. Hellgrün.
» deformis . . .	22/III.	Al.	8×5; 8×7; 8×6	Höhe 4—5 mm. Grün. Wachstum auf Asparagin
» » . . .	25/IV.	Asp.	13×18; 12×14	doppelt so schnell wie auf Alanin.
» gracilis	22/III.	Al.	10×12; 9×12; 9×10	Kolonieen von dünnen grünen Zonen umgeben.
» »	25/IV.	Asp.	10×12	Kolonieen ohne Zonen.
» macilenta . . .	13/III.	»	8×9; 8×8; 9×6.	Höhe 2—3 mm. Nur die Asparaginkultur beibehalten. Den anderen *Cladonia*-Gonidien ähnlich.
» rangiferina . .	22/III.	Al.	9×10; 9.5×10.5	Höhe 4—5 mm. Nur die Alaninkultur beibehalten. Hoch, buckelig, hellgrün.

Lecanora subfusca . . .	22/III.	Al.	15×18; 16×17; 10×15	Vorzüglich gewachsen, besser auf Asparagin als auf Alanin. Auf Asparagin schwarzgrün, auf Alanin rein grün. Kolonieen auf Alanin flach, auf Asparagin in der Mitte sich hochhebend.
» » . . .	25/IV.	Asp.	22×22; 20×18	
Lecidea fuliginea	15/III.	Asp.	12×15; 8×10	Höhe 3—4 mm. Sehr gut gewachsen. Kolonieen hoch, in der Mitte eingedrückt, hellgrün.
Peltigera aphthosa . . .	22/III.	Al.	18×18	Kolonieen dunkelgrün, glatt, spiegelblank.
Physcia ciliaris	27/I.	Asp. *)	20×17; 12×13; 14×15	Photographiert (Taf. II, fig. 3). Schön gefältet und
» »	13/III.	»	12×14; 12×13; 9×12	granuliert.
» »	22/III.	Al.	13×17; 14×16	
» obscura	27/I.	Asp.	14×16; 12×13; 14×17	Glänzend schwarzgrün. Um die Kolonieen bilden
» »	13/III.	» *)	11×19; 11×14; 7×9	sich durchsichtige Höfe mit scharfen, trüben
» »	22/III.	Al. 1.	10×11; 10×11; 8×9	Rändern. Phot. (Taf. II, fig. 12 u. 13).
» »	»	» 2. *)	10×9; 8.5×9; 8×7	Auf Alanin vergilben die Gipfel der Kolonieen, aber nicht auf Asparagin. Kolonieen flachbuckelig, sich etvas hochhebend.
» stellaris	22/III.	Al. *)	18×20; 18×18	Wächst besser auf Alanin als auf Asparagin.
» »	13/III.	Asp.	9×8; 9×9	Kolonieen auf Alanin sehr flach, sich seitlich ausbreitend, flachbuckelig; auf Asparagin in der Mitte sich etwas hochhebend. (Taf. II, fig. 9).
Ramalina fraxinea . . .	22/III.	Al.	12×19: 7×8	Wächst viel besser auf Alanin als auf Asparagin.
» » . . .	13/III.	Asp.	5×5; 5×5; 5×6	
Xanthoria parietina I. .	27/I.	»	10×15; 9×11; 8×11	Nur die Asparaginkulturen beibehalten. Kolonieen hoch, buckelig, dunkelgrün, glänzend. (Taf. II, fig. 1).
» » » .	25/IV.	» *)	10×10	
» » II. .	22/III.	Al.	7×7; 5×8; 4×5	Die Flechte stammt aus Holland. Kolonieen aus Asparagin sehr klein, dunkelgrün, auf Alanin grösser und heller, auf beiden Substraten ganz glatt und flach. (Taf. II, fig. 2).
» » » .	25/IV.	Asp.	2×3; 2×2	

*) Bedeutet, dass die Kultur photographiert ist.

etwa 4—6 Monate. Dies beruht natürlich auf den Verschiedenheiten der Kulturbedingungen. In feuchter Luft halten sich die Kulturen länger als in trockener Luft, der Unterschied braucht jedoch nicht gross zu sein. Die Einstellung des Wachstums beruht nach Chodat (l. c. S. 211) auf folgenden Umständen: »1° le coefficient spécifique de la vitesse du développement. Chaque espèce a un coefficient propre et qui détermine sa vigueur; 2° le rapport qui existe entre cette vitesse et le changement du milieu (évaporation de l'eau du milieu; excrétion de substances particulières fournies par l'algue dans le milieu); 3° le mode de propagation de l'espèce. Les algues possédant des zoospores, se déplacent plus facilement hors des limites coloniales que les spores ou autospores passives.» Aus dieser Erscheinung folgt, dass die Algen auch in den feucht aufbewahrten Kulturen nicht in's Unbegrenzte fortwachsen, sondern in der Regel nur einen ziemlich beschränkten Raum auf der Oberfläche des Nährbodens einnehmen. Besonders schnell wachsende Arten werden allerdings auch die ganze Oberfläche bedecken können.

Durch die Kultur in mit Wasserdampf gesättigter Luft wird der Einfluss einer Eintrocknung des Substrates auf das Resultat eliminiert. Das Wachstum wird nunmehr nur durch die Vermehrungsweise und die spezielle Wachstumsgeschwindigkeit der betreffenden Art unter den gegebenen Lebensbedingungen beeinflusst, sowie durch das Verhältnis der Wachstumsgeschwindigkeit zu der chemischen Veränderung des Mediums

C. Kultur in Nährlösungen.

Um die Wachstumsgeschwindigkeit der verschiedenen Gonidien mit einander genauer vergleichen zu können, wurden von ihnen Kulturen in Nährlösungen hergestellt (25 ccm der Nährlösung in *Erlenmeyer*-Flaschen von 200 ccm Inhalt).

Die Zusammensetzung der Nährlösung war folgende:

Traubenzucker	1 %
Asparagin	0.4 %
KH_2PO_4	0.05 %
$MG SO_4$	0.025 %
Fe_2CI_6	0.00067 %

Von jeder Gonidienart wurden drei Kulturen hergestellt. Die Beimpfung geschah derart, dass kleine Klümpchen der Gonidienmasse mit der Spitze der Präpariernadel in die Flaschen eingeführt wurden. Diese Klümpchen wurden für die drei Flaschen verschieden gross gemacht, um die eventuelle Einwirkung der Aussaat zu beleuchten. Die Kulturen wurden in kühlem Raum bei diffusem Licht aufgestellt, wo die Feuchtigkeit der Luft nur ein schwaches Abdunsten gestattete.

Nach Verlauf von zwei Monaten konnte man sehen, dass die drei Parallelkulturen derselben Gonidienart im allgemeinen übereinstimmendes Wachstum zeigten. Eine Ausnahme machten die *Alectoria implexa*-Gonidien, die nur in einer Flasche gut wuchsen, in den zwei anderen aber nur einen winzig kleinen Bodensatz bildeten. Die Zellen erschienen jedoch in diesen letzgenannten Flaschen vollkommen frisch und besassen eine rein grüne Farbe, wurden aber aus unbekannter Ursache im Wachstum vollkommen gehemmt. Unten folgt eine nähere Beschreibung über das Wachstum der verschiedenen Gonidien.

Wir sehen aus der Tabelle, dass die Gonidien der verschiedenen Flechten von einander durch ihre Wachstumweise abweichen. Insbesonders möchte ich auf die blasse gelbgrüne Farbe der *Cladonia*-Gonidien, mit Ausnahme von *Cl. deformis*, aufmerksam machen. Die *Alectoria*-Gonidien zeichnen sich durch einen mehligen, nicht zusammenhängenden Bodensatz aus, während die meisten anderen Arten Klümpchen oder Flocken bilden. Bisweilen bildet sich ein dünnes Häutchen an der Oberfläche der Flüssigkeit. Der zum Teil gelbe, zum Teil dunkelgrüne Bodensatz der *Physcia obscura*-Gonidien ist übereinstimmend mit den Kolonieen auf festem Substrat, die

Gonidien von	Wachstum
Alectoria implexa	Dicker, bräunlich gelbgrüner, mehliger Bodensatz. (Vgl. auch das Obengesagte).
Cetraria pinastri	Dicker, dunkelgrüner, flockiger Bodensatz und Wandbelegung.
Cladonia coccifera	Gelblich hellgrüner Bodensatz und dünnes Häutchen an der Oberfläche der Flüssigkeit.
» *cornuta*	Dünner, sehr hellgrüner Bodensatz mit einigen Klümpchen. Kein Häutchen.
» *deformis*	Ein rein grüner, klumpiger Bodensatz.
» *gracilis*	Hell gelbgrüner, klumpiger Bodensatz.
» *macilenta*	Hell gelbgrüner, flockiger Bodensatz und ein dünnes Häutchen.
» *rangiferina*	Feiner, sehr hell gelbgrüner Bodensatz mit einigen Klümpchen.
Lecanora subfusca	Dicker, dunkelgrüner, durchgehend klumpiger Bodensatz.
Lecidea fuliginea	Lebhaft grüner, grossklumpiger Bodensatz
Peltigera aphthosa	Niedergedrückter, ganz ebener, etwas bräunlich grüner Bodensatz.
Physcia ciliaris	Starker, dunkelgrüner, klumpiger Bodensatz.
» *obscura*	Dicker, unten gelber, oben dunkelgrüner flockiger Bodensatz und rissiges Häutchen.
» *stellaris*	Niedergedrückter, felliger, hellgrüner Bodensatz. Kein Häutchen.
Ramalina fraxinea	Winziger Bodensatz von einigen kleinen dunkelgrünen Klümpchen.
Xanthoria parietina	Dicker, dunkelgrüner, flockig-klumpiger Bodensatz und zähes, grünes Häutchen.
Xanthoria parietina aus Holland	Winziger, kaum sichtbarer, rein grüner Bodensatz.

auch teilweise leicht vergilben, während sie im Übrigen dunkelgrün sind.

Hier will ich zum Vergleich dass Ergebnis einer anderen Flüssigkeitskultur beifügen, wo anstatt Asparagin 0.5 % Calciumnitrat als Stickstoffquelle verwandt wurde. Die Versuchsdauer betrug etwas über 1 ½ Monat (3/III—21/IV 1917).

Gonidien von	Wachstum
Alectoria implexa	Hellgrüner, flockiger Bodensatz.
Cladonia coccifera	» klumpiger Bodensatz.
» *gracilis*	Dunkelgrüner, » »
» *rangiferina*	Hell gelbgrüner » »
Lecanora subfusca	Dunkelgrüner » »
Physcia stellaris	Hell gelbgrüner, dicker »
Ramalina fraxinea	Intensiv grüner, klumpiger »
Xanthoria parietina	Dunkelgrüner grosser,* »
Xanthoria parietina aus Holland	Rein grüner, sehr dünner »

Mit einigen Ausnahmen haben die Gonidien auch in diesem Versuche dieselben Merkmale ergeben, wie in dem vorigen. So hatten die Gonidien von *Cladonia coccifera* und *Cl. rangiferina* auch hier eine helle grüne Farbe, die von *Cl. gracilis* jedoch eine dunkelgrüne. Die Resultate der Versuche an den anderen Gonidien, mit Ausnahme deren von *Alectoria implexa*, sind übereinstimmend mit den früher gewonnenen. Es ist also jedenfalls eine gewisse Konstanz in Bezug auf Farbe und Masse der Kulturen festzustellen.

Die produzierten Algenmassen in den erstgenannten *Erlenmeyer*-Kulturen mit Asparagin als Stickstoffquelle wurden am 26—30/x 1917, also nach Verlauf von etwas mehr als sieben Monaten, durch Zentrifugieren gemessen. Hierzu wurden Zentrifugiergläser mit schmäleren, gradierten unteren Enden verwandt (Abb. 1.) Die Gradierung bezieht sich auf 0.1 ccm:n. Es wurde so lange zentrifugiert, bis die Bodensätze keine nennenswerte Einschrumpfung mehr zeigten, was in der Regel nach 10 Minuten eintraf. In der beigefügten Tabelle S. 35 sind die Resultate angegeben. Die drei Parallelkulturen einer jeden Gonidienart sind mit den Buchstaben a, b, und c bezeichnet.

Wie aus der Tabelle zu ersehen ist, war die Ausbeute von den drei Parallelkulturen nicht immer gleich gross. In einigen Fällen ist sie mehr abweichend, in anderen sind die Unterschiede kleiner. Der überwiegend grösste Teil der

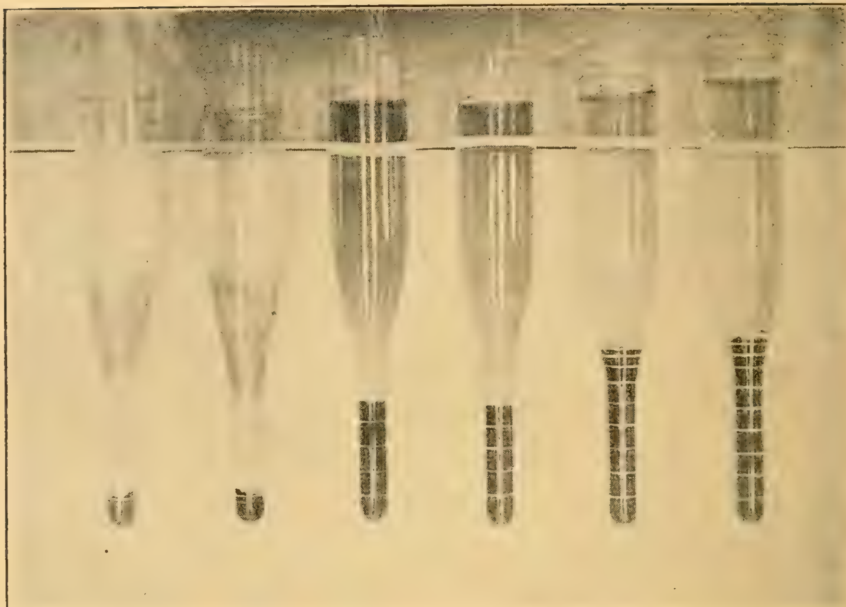


Abb. 1. Von links nach rechts, in je zwei Röhrchen der Bodensatz von *Ramalina fraxinea-*, *Phycia ciliaris-* und *Xanthoria parietina-* Gonidien.

verschiedenen Gonidien weist keine bemerkbaren Differenzen in der Wachstumsgrösse auf. Stellenweise sind jedoch die Differenzen recht auffallend. Insbesonders wird der Unterschied zwischen der finnischen und der holländischen *Xanthoria*-Gonidie auffallen. Das sehr langsame Wachstum der letzteren ist übereinstimmend mit den Resultaten von Agarkulturen. Die Gonidien der drei *Physcia*-Arten zeigen auch recht hübsche Differenzen. Die Gonidie von *Physcia ciliaris* besitzt das üppigste Wachstum unter allen *Cystococcus*-Gonidien, und wird nur von der einheimischen *Xanthoria*-Gonidie beinahe erreicht. Das kräftigste Wachstum unter allen Gonidien zeigt die Gonidie von *Lecidea fuliginea*.

Die Gonidie von *Ramalina fraxinea* ist sehr langsam gewachsen. Dieses Resultat stimmt also mit dem überein, was aus den Versuchen mit Stickstoffquellen bezüglich derselben Gonidie hervorgegangen war (S. 18, Tab.). Auch bei der

Gonidien von		Bodensatz cm³	Gonidien von		Bodensatz cm³
Alectoria implexa	a	0.04	*Lecidea fuliginea*	a	1.80
	b	0.02		b	1.50
	c	0.52		c	1.20
Cetraria pinastri	a	0.46	*Peltigera aphthosa*	a	0.57
	b	0.48		b	0.52
	c	0.47		c	0.44
Cladonia coccifera	a	0.68	*Physcia ciliaris*	a	1.00
	b	0.80		b	1.00
	c	0.58		c	1.15
» *cornuta*	a	0.45	» *obscura*	a	0.64
	b	0.45		b	0.62
	c	0.46		c	0.62
» *deformis*	a	0.47	» *stellaris*	a	0.49
	b	0.56		b	0.47
	c	0.48		c	0.48
» *gracilis*	a	0.48	*Ramalina fraxinea*	a	0.10
	b	0.44		b	0.10
	c	0.47		c	0.13
» *macilenta*	a	0.51	*Xanthoria parietina*	a	0.88
	b	0.53		b	0.90
	c	0.57		c	—
» *rangiferina*	a	0.50	» » *aus*	a	0.01
	b	0.47	*Holland*	b	0.01
	c	0.38		c	0.01
Lecanora subfusca	a	0.58			
	b	0.62			
	c	0.51			

Petrischalenkultur war ein ziemlich schwaches Wachstum auf Asparagin-Agar zu konstatieren. In der Zeit zwischen den Stickstoffversuchen 1915 und den Petrischalenkulturen 1917 zeigten jedoch die Gonidien von *Ramalina fraxinea* zeitweilig ein recht üppiges Wachstum sowohl in Probierröhrchen als auch in Petrischalen auf Asparagin-Agar. Ein ähnliches Schwanken bezüglich der Wachstumsenergie habe

ich auch bei einigen anderen Gonidien festgestellt, die ich während der Jahre 1914—1918 kultiviert habe. Der Grund hierzu kann meiner Ansicht nach nicht allein in einer Herabsetzung der Wachstumsenergie durch das Alter der Kultur zu suchen sein, denn es konnte geschehen, dass eine Kultur nach einem kümmerlichen Wachstum von einigen Monaten mit einem Male anfing, auf demselben Nährboden schneller zu wachsen. Auch kommt es vor, dass an der Oberfläche der alten Kolonieen bei einigen Arten (bei Gonidien von *Lecidea fuliginea* besonders schön zu ersehen) »Knospen» hervorsprossen, d. h. sekundäre Kolonieen mit lebhafterer Farbe und grösserer Wachstumsenergie, als die Mutterkolonie sie besitzt. Hier spielt wohl die Anpassung an veränderten Lebensbedingungen eine Rolle. Speziell bei der »Knospenbildung» entstehen in der Mutterkolonie hie und da Zellen, die eine grössere Wachstumsenergie besitzen, als die Mehrzahl der Zellen. Auch können sich die Lebensbedingungen in einer Kolonie für verschiedene Zellen verschieden gestalten. Die Erscheinung kann also recht kompliziert sein und würde spezielle Untersuchungen erfordern.

IV. Charakteristik der Gonidien.

A. *Gonidien von Cystococcus-Typus.*

1. Allgemeines.

Cystococcus Nägeli.

Da die Geschichte dieser Algengattung schon öfters beschrieben worden ist (Treboux 1912, Chodat 1913, Petersen 1915), kann ich hier auf eine solche verzichten. Die Ansichten der genannten Forscher scheinen darin übereinzustimmen, dass die Identität der Flechtengonidien

mit der von N ä g e l i beschriebenen Alge zweifelhaft ist, dass man jedoch immerhin am besten diesen, sich in der Praxis schon eingebürgerten Namen für die ersteren beibehalten mag. Es wäre auch fast unmöglich, heute den Versuch zu machen, irgend eine Algenart mit Bestimmtheit mit derjenigen zu identifizieren, die N ä g e l i 1849 mit *Cystococcus humicola* bezeichnet hat. So hat der Gattungsbegriff *Cystococcus* durch T r e b o u x und C h o d a t eine neue, präzisere Bedeutung gewonnen, indem er auf die Flechtengonidien übertragen wurde.

Wenn man Gonidien von diesem Typus mit dem Mikroskop betrachtet, während sie noch an der Flechte sitzen, bieten sie alle den gleichen Anblick: kugelige Zellen mit zentralem Chromatophor und einem in der Regel deutlichen Pyrenoid. Die folgenden Mitteilungen beziehen sich jedoch ausschliesslich auf die Reinkulturen. Hier sind die Zellen kugelig, breit ellipsoidisch oder eiförmig. Die Grösse der erwachsenen Zellen — d. h. solcher, die zur Erzeugung von Tochterzellen schon fähig sind, — wechselt je nach den verschiedenen Arten zwischen 6 und 30 μ Durchmesser; bei *Cystococcus elegans* habe ich ausnahmsweise den etwa doppelten grössten Durchmesser von 58 μ angetroffen. Die Dicke der Zellmembran beträgt nach Beobachtungen an *Cladonia*-Gonidien etwa 0.8 μ.

Die Verwertung der Bestandteile des Zellinhalts als Merkmale stösst auf Schwierigkeiten, weil diese nicht immer klar zu erkennen sind. Je nach der Art und den äusseren Bedingungen können sie einen verschiedenen Anblick darbieten. Zur Orientierung mag Taf. I Abb. 1 dienen, die eine Gonidie von *Physcia pulverulenta* in hängendem Tröpfchen darstellt. Sie ist aus einem Schwärmer herangewachsen, der am Deckgläschen der feuchten Kammer gehaftet hatte, so dass sie bei unveränderter Stellung auch mit Ölimmersion und dem L e i t z'schen Zeichen-Apparat abgezeichnet werden konnte. Man sieht das zentrale Chromatophor mit gelappten Rändern und deutlichem, rundem Pyrenoid, ebenso wie den seitlichen Kern mit dem Kernkörperchen und den Chromatinkörnchen, die durch Einwirkung von Methylgrün sichtbar geworden

sind. Die Verhältnisse treten aber nicht immer so klar zu Tage.

Der Umriss des Chromatophors ist gewöhnlich unregelmässig gelappt, runzlich und höckerig, er kann aber auch zierlich gezähnt oder ganz glatt und rund sein. Ich isolierte in einem Tröpfchen eine Zelle mit ganz glattem Chromatophor. Sie lieferte Schwärmer, die zu Gonidien mit gelappten Chromatophoren heranwuchsen. Die Form des Chromatophors ist also keine konstante Eigenschaft. Sie scheint in gewissem Verhältnis zur Intensität der Farbe zu stehen. Hell gelbgrüne, auf Alanin-Agar herangezogene Gonidien von *Xanthoria parietina* hatten ganzrandige Chromatophoren, während die dunkelgrünen auf Asparagin-Agar gewachsenen, gelappte besassen. Unter Umständen kann das Chromatophor sehr unscharf konturiert, ja sogar diffus erscheinen. Dies beruht sowohl auf der Art wie auf den äusseren Verhältnissen. Nach Chodat (l. c. S. 89) muss man die *Chlorella*-Arten ohne organische Nahrung züchten, um einen klaren Einblick in die Bestandteile des Zellinhalts zu gewinnen. Dem entgegen bewahren nach ihm (l. c. S. 204) die Gonidien von *Cladonia furcata* und *Cl. pyxidata* auch bei Kultur sowohl auf glukose-, wie auf glukose- und peptonhaltigem Nährboden die Deutlichkeit des Zellinhalts. Petersen teilt mit, dass das Chromatophor der *Chlorella ellipsoidea* auf ½ %:igem Glukose-Agar mehr oder weniger degeneriert wird, die Zelle sich mit grossen Öltropfen füllt, die Membran stark verdickt und die Form der Zellen mehr gerundet wird. Ähnliche Beobachtungen hat Andreesen an Desmidiaceen *(Closterium, Cosmarium)* in älteren Kulturen gemacht.

Das Pyrenoid, das in noch in der Flechte befindlichen Gonidien in der Regel deutlich ist, wird in der Kultur oft undeutlich oder sogar völlig verwischt. Seine Deutlichkeit ist auch je nach der Art verschieden, jedoch kann auch ein und dieselbe Art sich in dieser Hinsicht verschieden verhalten. Eine reichliche Anhäufung von Reservestoffen kann das Vorhandensein des Pyrenoids maskieren. Das Verschwinden derselben während der Zoosporenbildung ist schon von

Famintzin und Baranetzky beobachtet worden. Diese Erscheinungen erhalten ihre natürliche Erklärung, wenn man sich der Ansicht von Schmitz anschliesst. Nach ihm (l. c. S. 137) kann das Pyrenoid nicht als ein stabiles Organ des Protoplasma angesehen werden, vielmehr als ein Teil des Chromatophors, in dem mehr oder weniger Pyrenoidsubstanz abgelagert ist. Die Menge dieser Substanz kann bei nahe verwandten Spezies wesentliche Unterschiede aufweisen, so z. B. bei den *Euglenen*, von denen einige ein deutliches Pyrenoid zeigen, während die allernächsten Verwandten des Pyrenoids völlig ermangeln. Auch bei derselben Art, die gewöhnlich ein deutliches Pyrenoid hat, kann die Menge der Pyrenoidsubstanz zeitweise so klein sein, dass das Pyrenoid nicht unterschieden werden kann.

Das Fehlen des Pyrenoids dürfte vielleicht auch darauf beruhen, dass die Pyrenoidsubstanz diffus im Chromatophor verteilt ist. Ein undeutliches Pyrenoid wird durch Färbung mit Jod sichtbar, indem es einen tiefbraunen Ton annimmt. Gleichzeitig färbt sich auch die nächste Umgebung des Pyrenoids braun. Oft kommt jedoch durch Färbung mit Jod eine braune Wolke in der Mitte des Chromatophors zum Vorschein, die keine scharfen Grenzen besitzt. Die Vermutung liegt nahe, dass diese Erscheinung in irgend einer Beziehung zum Pyrenoid steht. Wenigstens kommen zwischen einer solchen diffusen Färbung und einer scharfen Färbung des Pyrenoids alle möglichen Zwischenstufen vor.

Als Reservestoff tritt bei den kultivierten Gonidien gewöhnlich fettes Öl auf. Seine Anhäufung in grösserer Menge ist wohl durch Störungen im Stoffwechsel bedingt. Dafür spricht die Tatsache, dass es insbesonders in älteren Kulturen zu bemerken ist. Wenn man ein wenig von der ölhaltigen Algenmasse auf den Objektträger bringt und mit der Präpariernadel auf das Deckgläschen drückt, so kann man bei gleichzeitiger mikroskopischer Betrachtung sehen, wie kleine Öltröpfchen aus den Zellen herausdringen und zu grösseren Tropfen verschmelzen. Die freien Öltropfen färben sich mit Osmiumsäure in 2—5 Minuten schwarzbraun, während das Öl innerhalb der Zellen sich nur langsam färbt.

S t ä r k e k ö r n e r werden selten gebildet. Durch Jod-Chloralhydrat erhält man bei allen Arten sowohl in Nährlösung als auf festem Nährboden bisweilen um das Pyrenoid violettblaue Wolken und kleine schwarzblaue Stäbchen (»Pyrenoidstärke»). Ausnahmsweise findet man in einzelnen Zellen Stärke in Form vom grösseren Körnern aufgespeichert, die das ganze Cytoplasma erfüllen (»Stromastärke»). (Beobachtet bei Gonidien von *Xanthoria parietina* (aus Finnland) in Nährlösung). Anfangs färben sich die bezüglichen Zellen mit Jodjodkalium und Chloralhydrat schmutzig schwarz; nach 5 Min. langer Einwirkung der Reagenz und bei Drücken auf das Deckgläschen mit der Präpariernadel, so dass die Zellen sich von einander trennen und zugeplattet werden, erhält man jedoch eine schöne blaue Färbung und kann in jeder stärkehaltigen Zelle die zahlreichen Stärkekörner unterscheiden. — (Bei Gonidien von *Cladonia coccifera* habe ich auch sich mit Jod schwarz färbende Stärkekörner beobachtet).

Eine solche Anhäufung von Stärke im Cytoplasma ist nach S m i t h für alle *Protococcaceen* in alten Kulturen charakteristisch. Gleichzeitig damit pflegt eine Zerstörung des Chlorophylls stattzufinden. Sie muss also als eine abnorme Erscheinung angesehen werden. Nach C h a r p e n t i e r findet Stärkebildung bei *Cystococcus* vorwiegend nur im Dunkeln statt. Sie wird jedoch nicht durch Licht gehemmt, da die den oberflächlichen Schichten der Lichtkulturen entnommenen Zellen oft zum grossen Teil Stärke enthalten sollen.

Die Vermehrung geschieht sowohl durch Schwärmsporen als auch durch unbewegliche Tochterzellen (»Autospores» nach C h o d a t). Zuerst teilt sich das Pyrenoid in zwei. Dann teilt sich das Chromatophor längs einer Linie, die vom Kerne bis zum entgegengesetzten Ende des Chromatophors verläuft. Der Kern dringt zwischen die Hälften des Chromatophors ein und scheint sich während der weiteren Zweiteilung der letzteren ebenfalls zu teilen, indem die Tochterkerne wieder zwischen die Chromatophorstücke eindringen (Vgl. Taf. I, 5 b u. j.). Später kann man den Kern nicht mehr erkennen (Vgl. auch H e d l u n d 1 und 2).

Während der Zoosporenbildung setzt sich die Teilung des Chromatophors fort, bis die Zelle von zahlreichen Stückchen erfüllt ist. Um die Entwicklung dabei näher zu verfolgen, isolierte ich einen Schwärmer der *Physcia pulverulenta*-Gonidie in einem hängenden Tröpfchen, wo er zur Ruhe kam (14. X). Unten ist seine Entwicklung bis zur nächsten Generation angegeben (Vgl. Taf. I, 2).

14 . X		Durchmesser	6.5 μ	
16 . »		»	9.8 »	
17 . »		»	12.3 »	
19 . »		»	17.5 »	
20 . »		»	21.1 »	
21 . »	10^h Vm.	»		(das Chromatophor fängt an, sich zu teilen)
21 . »	4^h Nm.	»	22.7 »	
22 . »		»	24.3 »	
23 . »	9—10^h Vm.		ausgeschwärmt.	

Das Alter einer Generation war also 9 Tage. Ebenso kann man berechnen, dass das Volumen eines Schwärmers $^1/_{64}$ des reifen Zoosporangiums recht nahe kommt. (Nach H e d l u n d (2, S. 41) tritt nach der Abrundung des Schwärmers eine Zusammenziehung des Plasmakörpers durch Abgabe von Wasser ein, das beim Austritt der Schwärmer aufgenommen wurde). Die Anzahl der Schwärmer ist verschieden. Bei *Cystococcus elegans* (aus *Physcia stellaris*) habe ich deren einmal nur 20—30 gefunden, bei den *Cladonia*-Gonidien mehr als 100 (bei der *Cl. macilenta*-Gonidie einmal 112, ein anderes Mal ca. 100, bei der *Cl. deformis*-Gonidie ca. 120). Die Grösse und Form der Schwärmer kann sehr verschieden sein. Normale Schwärmer sind gewöhnlich schmal spindel- oder birnförmig, einseitig abgeplattet, etwas unsymmetrisch. In der Regel sind sie 7 (6—9) μ lang, 1.6—2.4 μ dick und 3.2 μ breit (Vgl. S. 42 Abb. 2). Die zwei Cilien sind ebenso lang wie die Körper, oder etwas länger.

Die Ausschlüpfung der Schwärmer geschieht entweder so, dass die Membran an einer im Voraus zu bestimmender

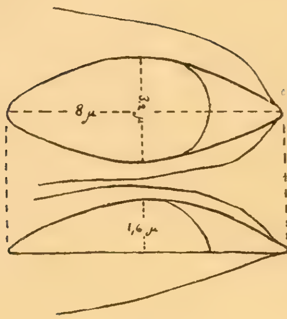


Abb. 2.

Stelle zerreisst, wonach die Schwärmer direkt frei werden (beobachtet bei den Gonidien von *Physcia pulverulenta, Ph. ciliaris, Xanthoria parietina* u. a.), oder so, dass sie alle zusammen innerhalb eines dünnen Bläschens durch das Loch austreten, einige Sekunden vor dem letzteren verweilen und erst durch Platzen des Bläschens frei werden (bei den *Cladonia*-Gonidien). Die Stelle, an der sich das Sporangium öffnen wird, erkennt man daran, dass der Zellinhalt sich hier ein wenig von der Wand zurückzieht. Die Ausschlüpfungsweise der Schwärmer würde sich vielleicht bei näherer Untersuchung als ein Merkmal von systematischer Bedeutung erweisen, man wird sie jedoch nur ziemlich selten beobachten können. Das Austreten der Schwärmer ist nicht an eine bestimmte Tageszeit gebunden, sondern findet sowohl bei Licht als auch im Dunkeln statt. (Nach S m i t h ist das Ausschwärmen bei *Pediastrum* einer täglichen Periodizität unterworfen). Die Tochterzellen ein und derselben Mutterzelle gelangen oft fast gleichzeitig zur Ausschlüpfung. Eine Gonidiengruppe von 16 Zellen wurde innerhalb einer Stunde von Schwärmern entleert.

Eine Vereinigung der Schwärmer habe ich nicht selten bei den Gonidien von *Xanthoria parietina, Physcia ciliaris* (Taf. I Abb. 3) und *Ph. pulverulenta* beobachtet. Bei reger Schwärmerbildung wird man fast immer eine gewisse Menge solcher paarweise vereinigter Schwärmer entdecken. Sie pflegen seitlich derart an einander zu haften, dass sie mit den Cilienenden nach vorn einen spitzen Winkel mit einander bilden. Es gelang mir einmal ein solches Pärchen, das sich am Deckgläschen der feuchten Kammer festgesetzt hatte, bei 1,000-facher Vergrösserung zu betrachten, wobei ich ein vollständiges Verschmelzen der beiden Schwärmer feststellen konnte. Nachdem die Zusammenschmelzung der beiden Körper schon bis zu den kurz hervorragenden vorderen Enden fortgeschritten war, konnte man noch die Cilien an den Spitzen schwingen sehen. Schliesslich verschwanden die Cilien und der ver-

schmolzene Körper wurde kugelig. Ob es sich hierbei um eine echte geschlechtliche Fortpflanzung handelt, ist schwer zu sagen. Oft sind die Schwärmer nämlich schon beim Austreten aus der Mutterzelle bisweilen sogar zu dreien mit einander verbunden. Die Gonidien sind vielleicht in dieser Hinsicht als Zwischenformen zwischen den geschlechtlichen und ungeschlechtlichen Pflanzen anzusehen. Eine Vereinigung der Schwärmer bei den Flechtengonidien ist wohl früher nicht beobachtet, was mir darauf zu beruhen scheint, dass man ihre Entwicklung in hängenden Tröpfchen nicht lange genug mikroskopisch verfolgt hat.

Unter Umständen wird die Schwärmsporenbildung unterbrochen, bevor die Schwärmsporen fertig ausgebildet sind, die Protoplasmateilchen umgeben sich frühzeitig mit eigener Membran und werden zu Autosporen (die »unterbrochene Schwärmsporenbildung»). Bisweilen wird die Schwärmsporenbildung so spät unterbrochen, dass die Protoplasmateilchen fast zu fertigen Schwärmsporen geworden sind, die jedoch mehr oder weniger des Bewegungsvermögens entbehren. Man kann oft sogar die unvollständigen Schwärmer ganz wie normale Schwärmer aus der Mutterzelle schlüpfen sehen, wobei sie nach dem Austreten unbeweglich bleiben. Es kommt auch vor, dass einige fertige, normale Schwärmer innerhalb der Mutterzellenmembran verbleiben, sich da abrunden und zu Autosporangien ähnlichen Bildungen Anlass geben.

Die Vermehrung durch unbewegliche Tochterzellen, welche ich mit Chodat die *Autosporenbildung* nennen will, unterscheidet sich von der Schwärmsporenbildung dadurch, dass sich die Teilstückchen des Protoplasma früher oder später innerhalb der Mutterzellenmembran mit eigener Membran umgeben. Zuerst teilt sich der Zellinhalt succedan in 4, 8, 16 oder sogar mehrere Teile, worauf simultan die Bildung der Membran erfolgt. Anfangs schliessen sich die Membrane der Tochterzellen dicht an einander und an die Mutterzellenmembran, später werden die Tochterzellen gerundet, und indem sie weiter wachsen, zersprengen sie schliesslich die Mutterzellenmembran und werden frei. Jede der 4 oder mehreren Toch-

terzellen kann ihrerseits mit einer weiteren Teilung beginnen, während sie noch zu einer Gruppe vereinigt sind. Dadurch entstehen oft grosse Kugeln von zahlreichen Zellen, die auch dem blossen Auge sichtbar sind. Eine solche Kugelbildung macht sich bei den Kolonieen auf Agar dadurch bemerkbar, dass die Oberfläche der Kolonie von kleinen halbkugeligen Ausbuchtungen gröber oder feiner granuliert wird. Die verschiedenen Arten verhalten sich in dieser Hinsicht verschieden.

Die Autosporenbildung ist dadurch bemerkenswert, dass sie alle möglichen Übergänge zwischen der echten vegetativen Zellteilung und der Sporenbildung aufweist. Von der vegetativen Teilung sind die Fälle, in denen sich die Membrane der Tochterzellen innerhalb der Mutterzelle dicht an einander schliessen, so dass die Tochterzellen polygonal erscheinen (Taf. I, 4), nicht wesentlich zu unterscheiden. Solche Fälle will ich »vegetative Teilungsstadien» nennen. In anderen Fällen werden die Tochterzellen bald gerundet und erscheinen als selbständige, kugelige Sporen innerhalb der Mutterzelle (5 f—h, 6 d). Beide Fälle sind nicht scharf von einander zu unterscheiden. Chodat hat schon 1894 (1, S. 614) den nur graduellen Unterschied zwischen der vegetativen und der sporangialen Vermehrungsweise ausdrücklich betont: »Je pense avoir suffisamment démontré pour *Palmella*, *Palmococcus*, *Pediastrum*, *Scenedesmus*, *Dactylococcus* et *Raphidium* qu'il n'y a entre la division végétative vraie et la division sporangiale qu'une question de plus ou moins grande fermeté des membranes séparatrices. Je n'insiste sur ce point que pour les types inférieures où la fixation des organes est encore flottante.» Das Vorhandensein oder Fehlen der echten vegetativen Zellteilung hat Chodat später dazu veranlasst, unter den *Chlorophyceen* die Gruppen Cystosporeæ und Parietales aufzustellen. Die Gattung *Cystococcus* gehört somit zu den *Cystosporeen*, während die Gattung *Protococcus* Ag. (= *Pleurococcus* der meisten Autoren) unter die *Parietales* eingereiht ist. Der *Protococcus viridis* Ag. (= die frühere *Pleurococcus Nägeli* Chod.) ist eben eine fortgesetzte Zweiteilung der Zellen charakteristisch, was die

Bildung der kleinen 4-zelligen Thallus oder kurzen Fädchen veranlasst. Neuerdings hat aber Petersen eine neue Art, *Pleurococcus calcarius*, beschrieben, bei der die beiden Tochterzellen innerhalb der Mutterzelle mit eigener deutlicher Zellwand versehen werden, die sich an der Scheidewand von der Wand der Mutterzelle ein wenig zurückzieht. Diese Vermehrungsweise ist von der Autosporenbildung garnicht zu unterscheiden. Ich sehe hierin einen Beweis für die verwandtschaftlichen Beziehungen zwischen den *Cystosporeæ* und *Parietales*. Die letzteren stehen mit ihrer Vermehrung durch vegetative Zweiteilung den höheren Pflanzen näher.

Ich will an dieser Stelle die Beziehungen zwischen *Cystococcus* und *Pleurococcus* etwas eingehender berühren, weil diese Algen oft mit einander verwechselt worden sind. Chodat selbst spricht noch 1902 in seinem »Algues vertes de la Suisse» von einem »*Cystococcus*-Stadium» der *Pleurococcus vulgaris* Menegh., dem ein Pyrenoid und die Fähigkeit, Schwärmer zu bilden, zukommt. In seinem ausgezeichneten »Monographies d'algues en culture pure» von 1913 sagt er sich jedoch von dieser Ansicht los, nachdem er *Cystococcus* in Reinkultur gezüchtet hat. Im Gegensatz zu *Cystococcus* bildet *Protococcus* (= *Pleurococcus*) keine Schwärmsporen. Petersen (l. c. S. 321) will zwar geltend machen, dass *Pleurococcus lobatus* Chod. Schwärmsporen bilden könnte; solange die Art aber nicht in absoluter Reinkultur gezüchtet ist, hat man keinen Anlass, der Gattung *Pleurococcus* eine solche Fähigkeit zuzuschreiben. Der wichtigste Unterschied scheint mir jedoch gerade darin zu bestehen, dass *Protococcus* sich durch fortgesetzte Zweiteilung vermehrt, während *Cystococcus* gleichzeitig mehrere Tochterzellen (Autosporen) bildet. Ausnahmsweise kann man auch bei *Cystococcus* Sporangien mit zwei Autosporen antreffen.

Die *Cystococcus* stellt eine Algengattung dar, die in physiologischer Hinsicht Übergänge zwischen den autophyten und saprophyten Pflanzen aufweist. Sie kann sich bei völligem Lichtausschluss entwickeln, wenn man ihr eine organische Kohlenstoffquelle bietet, wobei sie ihre Farbe be-

wahrt. Sie kommt jedoch auch ganz autotroph mit atmosphärischer Kohlensäure zustande, wenn man sie bei Licht ohne organische Nahrung kultiviert. Nach Charpentier steht *Cystococcus* in Bezug auf die Fähigkeit Glukose zu verbrauchen, ausgedrückt durch den »coefficient d'utilisation du carbone», zwischen den Chlorophyllosen und Chlorophyllführenden Pflanzen.

---

2. Charakteristik der Arten.

Nach der Art der Autosporenbildung teile ich die Gattung *Cystococcus* in zwei Untergattungen, *Eucystococcus* und *Eleuterococcus*, ein.

a. Untergattung **Eucystococcus**.

Bei der Autosporenbildung teilen sich die Zellen in 4—8—16 (selten mehr) Tochterzellen, deren Membrane so dicht an einander grenzen, dass die Tochterzellen durch einfache gerade Scheidewände getrennt erscheinen (vegetative Teilungsstadien). Dicht an der Stelle, wo die Scheidewände an die Mutterzellenmembran grenzen, ziehen sich die Membrane der einzelnen Tochterzellen zurück, wodurch kleine dreieckige Zwischenräume gebildet werden. Beim Weiterwachsen und bei der Abrundung der Tochterzellen buchtet sich die Mutterzellenmembran vor derselben nach aussen, bis sie schliesslich platzt und die Tochterzellen frei gibt. Seltener kommt es zu einer völligen Abrundung der Tochterzellen innerhalb der Mutterzellenmembran. Solche Fälle werden z. B. durch die »unterbrochene Schwärmsporenbildung» verursacht, wobei es nicht zur vollständigen Entwicklung der Schwärmsporen kommt, sondern die Protoplasmateilchen sich frühzeitig mit eigener Membran umgeben.

Für die Kolonieen ist charakteristisch, dass sie bei Lichtausschluss in der Regel dunkel-oder schwarzgrün werden (auf Asparagin-Agar).

Gewissermassen als Übergangsform zwischen dieser und der folgenden Untergattung ist die *Cystococcus intermedius* zu bezeichnen.

Diese Untergattung scheint die meisten *Cystococcus*-Gonidien zu umfassen. Hierher ist auch die Hedlund'sche »*Xanthoria*-Alge» zurechnen. Die Gonidien von *Xanthoria parietina* können in der Tat als Vertreter eines besonderen Typus angesehen werden, was ich durch die Aufstellung folgender Art zum Ausdruck bringen will.

Cystococcus Xanthoriæ nov. spec.
(Taf. II, 1; Taf. I, 4).

Von *Xanthoria parietina* Ach. (Exemplar von Halikko) isoliert.

Erwachsene Zellen in der Regel 16/16—21/21 μ im Durchmesser. Vermehrung hauptsächlich durch Autosporen, aber auch Schwärmsporen werden gebildet. Kolonieen auf Asparagin-Agar dunkel- bis schwarzgrün, hochwüchsig, unregelmässig buckelig und warzig, ausserdem mit fein granulierter Oberfläche, die der Kolonie zuletzt oft ein trockenes Ansehen verleiht. Die Ränder der Kolonieen sind fest auf die Unterlage gedrückt und kriechen dicht an der Stelle, wo sie an die Unterlage grenzen, eine kurze Strecke verjüngt aus. Später, bei Vergrösserung der Kolonie können die Ränder mehr oder weniger von der sich hervorwölbenden Gonidienmasse bedeckt werden. Diese Eigenschaften der Kolonieen haben sich als sehr charakteristisch und in hohem Grade konstant erwiesen.

Auf Alanin-Agar wurden die Kolonieen hellgrün (vgl. S. 20) und enthielten blassgrüne Zellen mit kleinen, ganzrandigen Chromatophoren; der Zellinhalt um das Chromatophor war grobkörnig und enthielt Öltröpfchen.

Bei vielen anderen Flechtenarten scheint es Gonidien zu geben, die von *Cystococcus Xanthoriæ* nicht scharf zu unterscheiden sind. Manche von ihnen weisen jedoch abweichende physiologische Eigenschaften auf, die mehr oder weniger konstant beibehalten werden. Man kann sie also als physiologische Rassen bezeichnen, wobei man im Auge behalten

muss, dass die Grenzen zwischen Rassen und Arten keineswegs scharf zu ziehen sind. Mit physiologischen Rassen verstehe ich hier solche Klonen, die physiologisch von einander abweichen, deren morphologische Differenzen jedoch so gering und unbeständig sind, dass sie sich einer begrifflichen Fassung entziehen. Es können sich unter denselben vielleicht auch konstante Arten befinden, aus praktischen Gründen kann man sie jedoch nicht alle als besondere Arten aufstellen, sondern je nach dem Grad der Verschiedenheit als Unterarten, Varietäten oder Rassen bezeichnen.

Die Frage nach der Konstanz und dem systematischen Wert dieser kleinsten Lebenstypen dürfte zu den schwierigsten gehören. Die Grenzen zwischen konstanten Eigenschaften und Fluktuationen sind bei diesen einzelligen Organismen ganz verwischt.

Die Gonidien von *Physcia ciliaris* sind der *Cystococcus Xanthoriæ* sehr ähnlich. Sie zeichneten sich durch schön wuchernde Kolonien mit buckeliger und faltiger, regelmässig granulierter Oberfläche aus (Taf. II, 3). Die Ränder der Kolonieen waren oft länger verjüngt und zierlich gelappt. Diese Rasse bildete unter den *Cystococcus*-Arten den grössten Bodensatz in Flüssigkeitskulturen. Die Kolonieen auf Asparagin- und Alanin-Agar in feuchter Luft erreichten einen Durchmesser von 15—20 mm. Paarweise vereinigte Schwärmsporen wurden oft beobachtet (Taf. I, 3). Häufiges Vorkommen von langgestreckten Tetraden und eigenartigen dreizelligen vegetativen Stadien insbesonders in hängenden Tröpfchen war charakteristisch (Taf. III, 5).

Die Gonidien von *Ramalina fraxinea* unterscheiden sich bezüglich der Kolonieen kaum von den obengenannten. Ernährungs-physiologisch scheinen sie jedoch eine besondere Rasse darzustellen. Sowohl bei Kultur mit verschiedenen Stickstoffquellen 1914/15 als auch in Petrischälchen 1917 zeigten sie viel besseres Wachstum auf Alanin-als auf Asparagin-Agar (Vgl. Taf. IV und V, 8 und Tab. S. 18). (Die Versuche von 1914/15 wurden mit einer Population, diejenigen von 1917 mit einer daraus isolierten Klone angestellt).

Die Gonidien der *Physcia pulverulenta* (Taf. I, 1 u. 2) stellen eine Varietät dar, die sich durch besonders grosse Neigung zur Schwärmsporenbildung auszeichnet. In hängenden Tröpfchen vermehren sie sich fast ausschliesslich durch Schwärmer. Ich will sie deshalb mit v. *zoosporifera* bezeichnen. Erwachsene Zellen haben einen Durchmesser von 10/10—25/25 μ. Das Chromatophor zeigt bei Kultur in hängenden Tröpfchen ein grosses, deutliches Pyrenoid. Kolonieen schnellwachsend, in 1—2 Monate alten Kulturen auf Asparagin-Agar dunkel-, auf Alanin-Agar hellgrün; die Zellen auf Alanin-Agar zeigen ein wenig gelapptes oder ganzrandiges Chromatophor und feiner oder gröber körniges Protoplasma ohne Öltröpfchen. Bemerkenswert ist das auffallend gute Wachstum auf Acetamid-Agar (Taf. VII, 3), das vielen anderen Gonidien nur ein geringes Wachstum gestattet. Die Kolonieen können unter Umständen glatt werden.

Die Gonidien von *Lecanora subfusca* (Taf. II, 4 u. 5) können auch als eine besondere Varietät bezeichnet werden. Die Kolonieen auf Asparagin-Agar in feuchter Luft sind schwarzgrün, sich in der Mitte hochhebend und buckelig mit verjüngten, glatten Rändern; auf Alanin-Agar rein grün, flach niedergedrückt, mit flach buckeliger Oberfläche und etwas gelappten, nicht verjüngten Rändern. Auf Asparagin-Agar in gewöhnlicher Zimmerluft waren die Kolonieen sowohl bei Licht wie auch im Dunkeln hoch, schwarzgrün, buckelig mit grob granulierter Oberfläche und verjüngten, schön gelappten auskriechenden Rändern. Diese Varietät kann v. *Lecanorae* genannt werden.

Die Gonidien von *Parmelia furfuracea* (Taf. IV—VII, 6) zeigen ebenfalls einige abweichende Eigenschaften, können aber nicht von den obengenannten scharf unterschieden werden. Die Kolonieen auf Asparagin- und Alanin-Agar in gewöhnlicher Zimmerluft waren oft niedergedrückt und kompakt mit seichten Furchen und kleinen Buckeln, in anderen Fällen aber wölbten sie sich hoch auf und zeigten eine grob granulierte Oberfläche mit tieferen Furchen. Die Ränder der Kolonieen waren nicht verjüngt. Das Chromatophor war im allgemeinen tiefgrün und reichlich gelappt. Die Grösse der

erwachsenen Zellen wechselte zwischen 8/8—23/23 μ. Reichliche Autosporenbildung mit vegetativen Stadien.

Hierher gehören auch die Gonidien von *Gyrophora flocculosa;* es gelang mir jedoch nicht, eine Klone von denselben zu gewinnen. Die Zellen waren 10/10—23/25 μ gross, die Kolonieen hochwüchsig, runzlig — buckelig, auf Asparagin- und Alanin-Agar dunkelgrün, auf Leucin-Agar hellgrün. Sie zeigten während mehrerer Monate nach der Isolierung ein sehr langsames Wachstum. Zellen auf Alanin-Agar mit tief grünem, wenig gelapptem oder ganzrandigem Chromatophor.

Auch die Gonidie von *Gyrophora polyphylla* habe ich isoliert und in hängenden Tröpfchen kultiviert. Sie vermehrte sich eine Zeit lang durch Autosporen, die Kulturen gingen aber bald zugrunde. Sie gehört jedenfalls zu der Untergattung *Eucystococcus.*

Cystococcus atrovirens nov. spec.
(Taf. II, 6).

Von *Cetraria pinastri* isoliert. Die Gonidien dieser Flechte können wegen der Konstanz ihrer Merkmale als eine besondere elementare Art aufgestellt werden.

Freie Zellen in den Flüssigkeitskulturen 14/16—17.5/17.5 μ im Durchmesser; vegetative Teilungsstadien 14/16, 14/17.5, 17.5/21, 17.5/17.5 μ. Auf Asparagin-Agar sind die Zellen etwas grösser: 18/18—19/19 μ. In hängenden Tröpfchen sind die vegetativen Teilungsstadien wenig beständig, die Zellen runden sich bald ab und bleiben in losen Gruppen an einander hängen (Taf. III).

Die Kolonieen sind in der Regel sehr flach, schwach buckelig aber nicht granuliert, glänzend schwarzgrün. Diese Merkmale behielten sich in mehreren Kulturen sowohl bei Licht wie auch im Dunkeln, auf Asparagin-und auf Alanin-Agar bei.

Cystococcus planus nov. spec.
(Taf. II, 7 u. 8).

Isoliert von *Alectoria implexa* (Ex. von H a l i k k o). Zellen auf Asparagin-Agar: 14.6/16.2; 16.2/16.2; 14.6/17;

15/16.2; 14.6/14.6 μ. Vegetative Teilungsstadien unbeständig, so dass die Zellen sich bald abrunden und frei werden. Bildet nie grössere, feste Autosporengruppen.

Die Kolonieen sind flach mit gerundeten, ganzen Rändern, meist mit glatter Oberfläche, tiefgrün und mattglänzend. Unter Umständen können sie jedoch hirnartige Buckel und Furchen an der Oberfläche aufweisen, aber auch dann sind sie nicht granuliert. Alte Kolonieen können an ihrer Oberfläche sekundäre Kolonieen erzeugen, die ebenso flach und glatt sind, wie die Mutterkolonie.

Diese Art wuchs nicht auf Acetamid-Agar im Gegensatz zu den anderen, welche an den Stickstoffquellen untersucht wurden.

Das obengenannte Exemplar rührte aus H a l i k k o her. Ein anderes Exemplar wurde in I i t t a l a eingesammelt und die Gonidie davon isoliert. Sie bildete kleine, flache und glatte Kolonieen, deren weitere Entwicklung ich jedoch nicht verfolgen konnte.

Cystococcus intermedius nov. spec.
(Taf. I, 5).

Auch von einem Exemplar von *Alectoria jubata* (L.), die in T a m m i s a a r i eingesammelt war, habe ich die Gonidie isoliert. 7. X. 1918 wurde eine einzelne Zelle direkt aus der Flechte in ein Probierröhrchen auf Asparagin-Agar übergeführt. Nach einem Monat konnte ein kleines grünes Pünktchen wahrgenommen werden. Anfang Dezember wurden Überimpfungen davon auf frischem Nährboden gemacht. 27. I. 1919 waren in einem Röhrchen zwei Kolonieen von 5/7 resp. 7/9.5 mm Durchmesser und ca. 2. mm Höhe zu sehen. Die Kolonieen zeigen nicht hohe, unregelmässige Buckel, wie bei anderen Arten, sondern die Oberfläche ist von kleinen, dicht bei einander sitzenden, ca. ½ mm breiten halbkugelförmigen Ausbuchtungen grob granuliert. Die Farbe der Kolonieen war bis Ende Januar hellgrün, und das mikroskopische Präparat hatte blassgrüne, grösstenteils freiliegende Zellen mit spärlichen vegetativen Teilungsstadien aufzuweisen. Die Vermehrung geschah vorwiegend durch Sporangien mit abge-

rundeten Autosporen (Taf. I, 5), wie sie bei der Untergattung *Eleuterococcus* angetroffen werden, doch kam es nie zur Bildung von Sporangien von der Grösse, wie sie bei dieser Untergattung oft zu sehen sind. Von Ende Januar an fingen die Kolonieen an schwarzgrün zu werden und Mitte Februar war die ganze Oberfläche mit Ausnahme der äusersten Ränder glänzend schwarzgrün. Die mikroskopische Untersuchung zeigte, dass die schwarzgrünen Teile der Kolonie reichlich dunkelgrüne, vegetative Teilungsstadien enthielten. Es war also eine Veränderung in der Vermehrungsweise der Zellen festzustellen.

Das Chromatophor war in den dunkelgrünen Zellen, deren es auch in den hellgrünen Kolonieen hie und da einzelne zu sehen gab, oft mit langen schmalen Lappen versehen und scheint dann den Kern mit einem schmalen dunkelgrünen Rahmen von Ausläufern zu umgeben. In den blassgrünen Zellen war das Chromatophor sehr undeutlich begrenzt, wodurch das Chlorophyll oft fast diffus im Protoplasma verteilt zu sein scheint. Später waren fast alle Zellen mit massiven, dunkelgrünen, dicht gelappten Chromatophoren versehen, wie sie auch bei den anderen Gonidienarten oft zu finden sind. Das Chromatophor stellt also ein sehr unzuverlässiges und unsicheres Merkmal dar.

Es handelt sich hier wahrscheinlich um eine neue Art von *Cystococcus*, die durch ihre veränderliche Vermehrungsweise eine vermittelnde Stellung zwischen den Untergattungen *Cystococcus* und *Eleuterococcus* einnimmt. Ich will sie vorläufig *Cystococcus intermedius* nennen, wobei das Urteil über die Berechtigung ihrer Aufstellung als besondere Art der Zukunft überlassen sein mag.

Cystococcus minimus nov. spec.
(Taf. II, 2).

Diese Art ist aus einer holländischen *Xanthoria parietina* isoliert (vgl. S. 60). Sie besitzt unter den von mir untersuchten *Cystococcus*-Arten die kleinsten Zellen. Freiliegende, erwachsene Zellen auf Asparagin-Agar hatten folgende Durch-

messer: 11.5/11.5; 11.3/11.3; 11.3/12; 12/12; 12/13; 13/13 μ; die gewöhnlichste Grösse war 12/12 μ. Eine reichliche Autosporenbildung mit vegetativen Teilungsstadien, insbesonders Tetraden, war festzustellen. Das Chromatophor zeigte ein deutliches Pyrenoid.

Die Alge wächst äusserst langsam [1]), besser mit Alanin, als mit Asparagin-Agar (vgl. Tab. S. 28). Die Kolonieen auf Asparagin-Agar sind sehr klein, flach, glatt und dunkelgrün, auf Alanin-Agar grösser und heller. Eine Kultur auf Asparagin-Agar, die 50 Tage im Thermostat bei 25° C gewachsen war, erzeugte ein 5 mm breites, ebenfalls flaches und glattes Täfelchen. Die Zellen waren frisch und in lebhafter Autosporenbildung begriffen. Das Chromatophor war ganzrandig oder kaum gelappt, mit deutlichem Pyrenoid. Durchmesser der Zellen: 5.6/5.6; 5/6.4; 6.4/6.4; 6.8/7; 7/7 μ.; gewöhnlich 7/7 μ.

Das Wachstum ist auch in den Flüssigkeitskulturen immer sehr langsam (vgl. Tab. S. 33 u. 35).

Alte Kolonieen (auf Alanin-Agar) erzeugen sekundäre Kolonieen, »Knospen», die ebenfalls flach, glatt und glänzend sind. Bei viele Monate alten Kulturen bilden sich allmählich um die Kolonieen durchsichtige Höfe.

Dunkelkulturen (1.III—17.X und 25.IV—17.X 1917) ergaben auch flache, glatte, dunkelgrüne und etwas glänzende Kolonieen.

Die Art hat ihre Eigenschaften sehr konstant bewahrt.

Cystococcus elegans nov. spec.
(Taf. II, 9).

Aus *Physcia stellaris* isoliert. Diese Art hat die grössten Zellen. Durchmesser auf Asparagin-Agar: 26/26; 28/29;

---

[1]) Es mag hier bemerkt werden, dass die Exemplare, welche von Prof. Dr. *J. W. Moll* in *Groningen* im Januar 1915 gesandt wurden, fünf Monate auf dem Wege nach Finnland waren, wonach sie 2—3 Monate im Gewächshause aufbewahrt wurden, wobei sie ihr normales Aussehen verloren. Es ist nicht unmöglich, dass alle diese Momente irgendeine Veränderung in den Eigenschaften der Gonidien, etwa die ausserordentliche Langsamkeit des Wachstums, bewirkt haben könnten. Auch ist es möglich, dass die beschriebene Alge eine epiphytische Art darstellt.

29/29; 29/31; 31/32 μ; meist 29/29 μ. Ausnahmsweise werden Zellen von etwa doppelter Grösse, 57/58 μ, angetroffen. In Flüssigkeitskulturen war die Zellengrösse 18/18—33/35 μ, in der Regel ca. 25/25 μ. Das Pyrenoid ist bei den kultivierten Zellen gewöhnlich in mehrere Stücke geteilt, welche den zentralen Teil des Chromatophors einnehmen. Von Schwärmsporen, welche verhältnismässig gross sind, wurden von einer Zelle ca. 20—30 Stück gebildet. Beständige vegetative Teilungsstadien sind selten angetroffen; die Zellen sind meist freiliegend, sie haften nicht in festen Gruppen an einander.

Die Alge bildet auf Agar in Petrischälchen sehr flache und breite, zierliche Kolonieen mit gelappten Rändern und fein buckeliger Oberfläche. Auf Asparagin-Agar heben sich die Kolonieen bisweilen ein wenig in der Mitte hoch. Dunkelkulturen in Probierröhrchen ergaben dasselbe Resultat: flache, sich gegen die Ränder verjüngende, dunkelgrüne Kolonieen mit fein buckeliger, bisweilen glänzender Oberfläche. Wächst besser auf Alanin- als auf Asparagin-Agar. In Flüssigkeitskulturen bildet sie einen blass gelbgrünen Bodensatz.

Cystococcus flavescens nov. spec.
(Taf. II, 12. u. 13).

Aus *Physcia obscura* isoliert. Durchmesser der Zellen 11/11—19/21 u. Die Zellen sind rund oder oft auch etwas ellipsoidisch oder oval. Perioden von lebhafter Schwärmsporenbildung wechseln mit solchen von reichlicher Autosporenbildung mit vegetativen Stadien, was in der helleren oder dunkleren Farbe der Kolonieen zum Ausdruck kommt. Kolonieen auf Asparagin-Agar buckelig, glänzend schwarzgrün; auf Alanin-Agar vergilben die Gipfel der sonst dunkelgrünen Kolonieen leicht. In den Flüssigkeitskulturen mit Asparagin als Stickstoffquelle bildet diese Art einen dicken Bodensatz, der unten gelb, oben dunkelgrün ist. Um die Kolonieen auf Agar bilden sich durchsichtige Höfe mit scharfen, durch irgend eine amorphe Fällung trüben Rändern. Wenn mehrere Kolonieen in demselben Petrischälchen wachsen, so

verschmelzen die durchsichtigen Höfe an den Berührungspunkten mit einander. (Taf. II, 12). Das Agar in dem durchsichtigen Hofe ist weder verflüssigt noch aufgeweicht. Ähnliche durchsichtige Höfe werden auch von einigen anderen Gonidien in sehr alten Kulturen gebildet, jedoch nicht so schnell und so scharf begrenzt wie bei dieser Art.

b. Untergattung **Eleuterococcus.**

Die Gonidien der *Cladonia*-Arten, welche ich untersucht habe, zeigen mit denen von Chodat untersuchten so wichtige Übereinstimmungen, durch die sie sich von den anderen *Cystococcus*-Arten unterscheiden, dass ich dieses Sachverhältnis in der Aufstellung einer besonderen Untergattung zum Ausdruck bringen will. Diese Übereinstimmungen sind: 1. Fehlen der vegetativen Teilungsstadien und 2. Vermehrung durch Sporangien, die oft sehr reichlich Autosporen enthalten. Chodat sagt ausdrücklich über die Gonidien von *Cladonia furcata* und *Cl. pyxidata* (l. c. S. 204): »Grâce à la production abondante des spores il y a dans les cultures des cellules de dimmension très variée. Il se forme parfois même d'immenses sporanges, surtout sur les milieux sucrés (fig. 166). Le nombre des spores varie de 2 à 32 et s'élève même beaucoup plus haut. Le plus souvent ces spores sont uniformes mais on trouve aussi des sporanges à spores très inégales. Je n'ai cependant jamais rencontré de vrai cloisonnement. La position des spores dans le sporange et leur persistance en tétraèdre plus ou moins persistant comme cela a lieu dans le *Cystococcus maximus* Chod. ne se rencontre qu'excessivement rarement». Die Gonidie von *Cladonia fimbriata* (*Cystococcus irregularis* Chod.) unterscheidet sich von den oben angeführten nur durch die Form der Zellen und die Beschaffenheit der Kolonieen. Die obengenannten, von Chodat gegebenen Eigenschaften passen vortrefflich auch auf die von mir untersuchten *Cladonia*-Gonidien. Insbesonders das Hervorheben der Differenzen zwischen den *Cladonia*-Gonidien und *Cystococcus maximus* Chod. scheint mir von ausschlaggebender Bedeutung zu sein. Diese letztere Art zeigt nämlich nach

den Zeichnungen von Chodat (l. c. fig. 171 und 172) ganz typische vegetative Teilungsstadien. Wenn nun auch Hedlund (2) die »*Cladonia*-Alge» von der »*Xanthoria*-Alge» unterscheidet und betont, dass der ersteren die Vermehrung durch Teilung fehlt, so gewinnt der Gedanke, dass die *Cladonien* überhaupt einen speziellen Gonidien-Typus besitzen, sehr an Wahrscheinlichkeit.

Die Untergattung *Eleuterococcus* scheint mehrere Arten und Rassen zu besitzen. Es ist recht schwer zu entscheiden, ob die von mir untersuchten *Cladonia*-Gonidien mit *Cystococcus Cladoniae* Chod. identisch sind oder nicht, weil Parallelversuche nicht angestellt worden sind. Ich neige zu der Ansicht, dass es sich hier um nahverwandte, jedoch nicht identische Arten handelt. *Cystococcus Cladoniae* Chod. behält auch bei Kultur sowohl auf Glukose-wie auch auf Glukose- und Pepton-haltigem Nährboden das Chromatophor ebenso deutlich wie in der Flechte bei, während bei meinen *Cladonia*-Gonidien der Zellinhalt sehr undeutlich wird, das Chromatophor seine scharfen Umrisse verliert und das Pyrenoid meistens nur bei ganz jungen Zellen zu sehen ist. Weiter ist meinen *Cladonia*-Gonidien eine grosse Neigung zur Erzeugung von ellipsoidischen, im Durchschnitt mehr oder weniger abgeflachten Zellen charakteristisch. Hierin nähern sie sich der *Cystococcus irregularis* Chod., von der sie sich jedoch durch die Beschaffenheit der Kolonieen leicht unterscheiden. Schliesslich scheinen meine *Cladonia*-Gonidien grösser zu sein, als *Cystococcus Cladoniae* Chod. und *C. irregularis* Chod. Diese Unterschiede sind aber nicht ganz scharf und Übergangsformen kommen vor.

Cystococcus glomeratus nov. spec.
(Taf. I, 6; II, 10 u. 11; III).

Die Grösse der erwachsenen Zellen wechselt zwischen 12—32 μ im längsten Durchmesser. Wenn die Gonidien in hängenden Tröpfchen kultiviert werden, nehmen sie zum grossen Teil bald eine mehr oder weniger ellipsoidische Form an. Bei Kultur auf Asparagin- und Alanin-Agar ist die

Form der Zellen nicht immer so regelmässig, aber auch hier sind die länglichen Zellen vorherrschend. Die Form kann durch die Grösse der Abflachung ausgedrückt werden, d. h. durch das Verhältnis der Differenz des grösseren und des kleineren Durchmessers zu dem grösseren. Die Abflachung wechselt bei den typischen Zellen von $^1/_4$ bis $^1/_5$; das Maximum erreichten die Gonidien von *Cladonia cornuta* mit $^1/_{3.36}$. Übrigens trifft man die verschiedensten Formen von ganz runden bis zu den ellipsoidischen an. Reife Zoosporangien nehmen oft wieder eine kugelrunde Form an.

Schwärmsporen werden in einem Sporangium in der Anzahl von ca. 100 oder mehr gebildet. Sie sind ca. 7 μ lang, 3.2 μ breit und 1.6—2.4 μ. dick; die Cilien sind 7 μ lang.

Bei Autosporenbildung bleiben die Tochterzellen auch nach Zersprengung der Mutterzellenmembran in Gruppen an einander haften, die durch weitere Vermehrung der daran beteiligten Zellen zu zierlichen, grossen, auch dem blossen Auge sichtbaren, runden oder länglichen Kugeln heranwachsen (Taf. III, 1 u. 2). Diese Vermehrungsweise tritt auch in der Form der Kolonieen zu Tage. Diese heben sich scharf von der Unterlage ohne verjüngte Ränder ab. Sie zeigen grössere und kleinere Buckel und Ausbuchtungen, und wenn man mit einer Präpariernadel etwas von der Masse herausnehmen will, so lösen sich die Zellen in grossen Klumpen. Auch in Wasser gelegt, sind die Zellen schwer von einander zu trennen. Bei Kultur in Nährlösung wird ein Bodensatz aus groben Klümpchen gebildet.

Die Kolonieen sind in mancher Beziehung denen von *Cystococcus Cladoniae* Chod. ähnlich; die Oberfläche besitzt einen feuchten Glanz und insbesonders auf Asparagin-Agar bilden sie oft spitze Wälle und Nerven, so dass sie den Eindruck einer Berglandschaft im Kleinen machen. Auf Alanin-Agar bilden sie mehr gerundete Ausstülpungen, die durch Furchen von einander getrennt sind (Taf. II, 10 u. 11). Die Art besitzt eine ausgeprägte Neigung zum Verbleichen sowohl in Agar- wie in Flüssigkeitskulturen, oft aber haben die Kulturen auch eine rein- bis dunkelgrüne Farbe. Bei Kultur unter völligem Lichtausschluss treten die Farbenverhältnisse

Gonidie von	Kultur	Durchmesser der Zellen in μ.	Typische Form und Grösse μ.	Abflachung
Cladonia coccifera	Asparagin-Agar	$\frac{24}{24}; \frac{24}{21}; \frac{23}{21}; \frac{24}{21}; \frac{24}{19}; \frac{24}{20}; \frac{24}{19}; \frac{21}{19}; \frac{23}{18}; \frac{26}{23}$	$\frac{24}{21}\left(\frac{21-26}{19-23}\right)$	$\frac{1}{13} - \frac{1}{8}$; max. $\frac{1}{4}$
» cornuta	» »	$\frac{16}{18}; \frac{18.5}{17}; \frac{15}{15}; \frac{13}{18.5}; \frac{14.5}{18}; \frac{13}{18.5}; \frac{16}{20}; \frac{14.5}{17}; \frac{15}{20}; \frac{17}{18};$		
		$\left(\frac{23}{23}\right); \left(\frac{23}{23}\right); \left(\frac{24}{24}\right)$	$\frac{14.5-16}{17-20}$	$\frac{1}{6.8} - \frac{1}{5}$; max. $\frac{1}{3.36}$
» deformis	»	$\frac{18}{21}; \frac{19.5}{21}; \frac{18}{20}; \frac{19.5}{21}; \left(\frac{31}{31}\right)$	$\frac{19.5}{21}$	$\frac{1}{14} - \frac{1}{8.6}$; max. $\frac{1}{5.2}$
» »	Flüssigkeit	$\frac{23}{26}; \frac{21}{26}; \frac{21}{23}; \frac{24}{26}; \frac{20}{23}; \frac{23}{24}; \frac{23}{24}; \frac{26.7}{26.7}$(∾) *)	$\frac{23}{26}$	
» gracilis * chordalis	Asparagin-Agar	$\frac{27.5}{29}; \frac{24.5}{27.5}; \frac{26}{27.5}$(∾); $\frac{22}{24.5}$(∾); $\frac{17}{19}$(∾); $\frac{23}{26}$(∾)	$\frac{23-24}{26-26}$	$\frac{1}{14} - \frac{1}{8.6}$; max. $\frac{1}{4.6}$
	» »	$\frac{24}{26}$(∾); $\frac{26}{32}; \frac{29}{29}$(∾); $\frac{21}{23}; \frac{18}{23}; \frac{19}{21}; \frac{21}{21}; \frac{23}{23}$(∾)		
» »	Flüssigkeit	$\frac{20}{20}; \frac{20}{23}; \frac{20}{21}; \frac{20}{18}; \frac{24}{25}; \frac{24}{23.5}; \frac{24}{23}; \frac{23}{26}; \frac{28}{28}; \frac{21}{23}; \frac{19.5}{21}$	$\frac{19.5-21}{21-23}$	
» macilenta	Asparagin-Agar	$\frac{21}{24.5}; \frac{18}{22}; \frac{21}{22}; \frac{21}{21}; \frac{20}{21}; \frac{20}{20}; \frac{23}{24.5}; \frac{24.5}{24.5}; \frac{23}{24.5}; \frac{23}{23};$		
		$\frac{17.5}{24.5}; \frac{17.5}{24.5}; \frac{18}{23}; \frac{21}{24.5}; \frac{19}{23}; \frac{21}{24.5}$	$\frac{19-21}{23-24.5}$	$\frac{1}{7} - \frac{1}{6}$; max. $\frac{1}{3.5}$
» rangiferina	» »	$\frac{13}{13}; \frac{13}{15}; \frac{12}{15}; \frac{13}{16}; \frac{12}{15}; \frac{15}{16}; \frac{14.5}{15}; \frac{16}{16}; \frac{13}{15}; \frac{20}{24}; \frac{21}{24};$		
		$\frac{20}{20.5}; \frac{21}{23}; \frac{20}{23}; \frac{18}{20}$	$\frac{13-21}{15-24}$	$\frac{1}{8} - \frac{1}{6.5}$; max. $\frac{1}{5}$

*) Ein (∾) bedeutet, dass die Zelle in Sporenbildung begriffen ist.

der Gonidien deutlicher hervor. Hier werden die Kolonieen aller *Cladonia*-Gonidien hellgrün, während die der anderen *Cystococcus*-Arten dunkel- bis schwarzgrün werden. Auch Chodat teilt mit (l.c. S. 201), dass die Kolonieen der *Cladonia*-Gonidien im Dunkeln klein und blass werden. Dieses Verhalten der Farbe scheint somit eine wichtige Eigenschaft darzustellen. Sehr charakteristisch für die *Cladonia*-Gonidien ist auch die Hochwüchsigkeit der Kolonieen, deren Ränder sich von der Unterlage scharf abheben oder sich sogar über die letztere herüberwölben. Es kommt vor, dass sich um die hohen Kolonieen Zonen einer dünnen Gonidienschicht bilden, die von Schwärmsporenbildung verursacht sind.

Zu dieser Art rechne ich die Gonidien, die ich aus den folgenden Flechten (eingesammelt im Jahre 1917 in Halikko) isoliert habe:

Cladonia coccifera.
» *deformis.*
» *gracilis* v. *chordalis.*
» *cornuta*
» *macilenta*
» *rangiferina.*

Nicht alle diese Gonidien sind ganz identisch mit einander. Die geringen Differenzen in der Farbe der Kolonieen und der Grösse der Zellen können jedoch nicht zur Unterscheidung von Arten führen. Es handelt sich um Rassen, die nicht von einander scharf zu unterscheiden sind. Die Gonidien von *Cladonia coccifera*, *Cl. cornuta* und *Cl. macilenta* bildeten ungefähr gleich grosse Kolonieen von gleicher blass gelbgrüner Farbe, während die von *Cl. gracilis* v. *chordalis*, *Cl. deformis* und *Cl. rangiferina* unter Umständen dunkelgrüne Kolonieen erzeugten. Die Gonidie von *Cl. cornuta* zeichnete sich durch kleinere, mehr ellipsoidische Zellen aus, und könnte *Cystococcus glomeratus* v. *minor* genannt werden. In der beigefügten Tabelle sind einige Messungen über Grösse und Form der verschiedenen *Cladonia*-Gonidien angegeben. Man vergleiche auch die Tabellen S. 27, 28 und 32.

Die obengenannten Flechten wurden alle an ein und demselben Orte (in H a l i k k o) eingesammelt. Nachträglich nahm ich ein Exemplar von *Cladonia fimbriata* aus einer anderen Gegend (T a m m i s a a r i) zur Untersuchung. Die Gonidie dieser Flechte gehört auch hierher.

Zu der Untergattung *Eleuterococcus* rechne ich auch, auf Grund der von C h o d a t gegebenen Beschreibungen, *Cystococcus irregularis* Chod. und *C. cohaerens* Chod.

3. Die Abhängigkeit der Gonidienart von dem Standort der Mutterflechte.

Die Entdeckung, dass das holländische Exemplar von *Xanthoria parietina* andersartige Gonidien als das finnische besass, veranlasste mich, *Xanthorien* aus verschiedenen Gegenden in Finnland zu sammeln und an ihnen die Identität der Gonidien zu prüfen. Exemplare, die aus T a m m i s a a r i, K a l v o l a und L o h j a herstammten, wiesen Gonidien auf, die sowohl in Bezug auf Form und Vermehrungsweise der Zellen, als auch auf Form und Farbe der Kolonieen mit denjenigen des obengenannten Exemplars von H a l i k k o ganz identisch waren. Es ist also bei den finnischen *Xanthorien* eine auffallende Konstanz bezüglich der Art der Gonidien festzustellen.

Oben ist auch angeführt, dass verschiedene Arten von *Cladonia*, die in H a l i k k o und T a m m i s a a r i eingesammelt wurden, fast identische Gonidien besassen. Die Versuche mit den finnischen Flechten sprechen also zu Gunsten der Auffassung, dass einer bestimmten Art resp. Gattung der Flechten, bestimmte Gonidien charakteristisch sind. Wenn auch eventuelle künftige Untersuchungen gleichdeutige Ergebnisse zeigen, könnte das abweichende Verhalten der holländischen *Xanthoria* so gedeutet werden, dass die betreffenden Flechten in Fi n n l a n d und H o l l a n d auch selbst etwas verschieden waren, etwa verschiedene Mikrospezies darstellten. Für die endgültige Antwort sind also weitere Untersuchungen noch nötig.

Es mag hier noch ganz kurz hinzugefügt werden, dass verschiedene Gonidien-Individuen von demselben Flechten-Exemplare sich identisch erwiesen (z. B. bei *Xanthoria parietina*).

4. Übersicht der *Cystococcus*-Arten

Unten werde ich versuchen, die verschiedenen *Cystococcus*-Arten nach ihren charakteristischen Eigenschaften in ein übersichtliches System zusammenzufassen. Die Abgrenzung der Arten macht keinen Anspruch auf Endgültigkeit. Vielmehr wird man bei Auffindung von neuen Arten, ja vielleicht auch bei näherer, länger fortgesetzter Untersuchung der bisher aufgestellten, sicherlich ersehen, dass irgendeine Spezies-Abgrenzung unsicher oder sogar falsch ist. Eine sichere Abgrenzung und Beschreibung der Arten ist eben bei den einzelligen Organismen äusserst schwierig und Fehlschlüsse lassen sich nicht vermeiden. Insbesonders sei darauf aufmerksam gemacht, dass die von mir untersuchten Arten nicht parallel mit denjenigen Chodat's gezüchtet sind.

I. Bei der Autosporenbildung treten mehr oder weniger beständige, vegetative Teilungsstadien auf (die Zellen teilen sich in 4, 8, oder 16 — selten mehr — Tochterzellen, deren Membrane sich anfangs dicht an einander und an die Mutterzellenmembran schliessen, so dass die Tochterzellen durch gerade Scheidewände getrennt erscheinen).

Anm. Bei *C. intermedius* werden neben den vegetativen Stadien häufig auch Sporangien mit abgerundeten Autosporen angetroffen.

Untergattung *Eucystococcus* (S. 47).

A. Die Zellen erreichen 26—32 μ im Durchmesser, in der Regel nicht in *Pleurococcus*-artigen Gruppen aneinanderhaftend. Die Kolonieen sehr flach und breit, flach buckelig und and den Rändern zierlich gelappt.
(Die Angaben beziehen sich auf Kulturen auf Aparagin- bez. Alanin-Agar, wenn nicht ausdrücklich anders

besagt wird. Zur Bestimmung der Grösse der Zellen sind auch Flüssigkeitskulturen anwendbar).
C. elegans nov. spec. (S. 53).

B. Die Zellen höchstens 26 μ im Durchmesser.
a. Die Zellen 22—26 μ im Durchmesser, häufig zu *Pleurococcus*-artigen Gruppen vereinigt. Die Kolonieen auf Glukose-Agar (vgl. Anm. S. 63) haben die Form etwas unregelmässiger Knöpfe.
C. maximus Chod. (5, S. 207).

b. Die Zellen in der Regel bis 22 μ (seltener bis 25 μ) im Durchmesser.
aa. Um die Kolonieen bilden sich durchsichtige Höfe mit scharf geschnittenen Rändern.
C. flavescens nov. spec. (S. 54).

bb. Die Kolonieen ohne deutliche, durchsichtige Höfe.
1. Die Kolonieen sich von der Unterlage hochhebend, mit unregelmässigen Buckeln und Furchen, ausserdem fein granuliert.
C. Xanthoriae nov. spec. (S. 47).

2. Die Kolonieen mit gleichmässig gewölbter, grob granulierter Oberfläche (Vgl. auch die Varietäten von *C. Xanthoriae*).
C. intermedius nov. spec. (S. 51).

3. Die Kolonieen flach niedergedrückt, nicht gleichmässig granuliert.
— Die Kolonieen glatt (seltener etwas gehirnartig gefaltet), mit ganzen Rändern, grün bis dunkelgrün, matt.
C. planus nov. spec. (S. 50).

— — Die Kolonieen sehr flach, gelinde buckelig, in der Mitte sich bisweilen etwas hochhebend, glänzend schwarzgrün.
C. atrovirens nov. spec. (S. 50).

c. Die Zellen nur bis 6—13 μ Durchmesser. Die Kolonieen flach und glatt, nur eine sehr geringe Grösse erreichend.

C. minimus nov. spec. (S. 52).

II. Bei der Autosporenbildung fehlen die vegetativen Teilungsstadien (die Tochterzellen werden innerhalb der Mutterzellenmembran bald abgerundet). Die Anzahl der Autosporen in einem Sporangium ist sehr wechselnd, oft beträgt sie weit über 32 (bis 40—250).

Untergattung *Eleuterococcus*. (S. 55).

A. Die Zellen bis 2—10 μ im Durchmesser. Die Kolonieen auf Glukose-Agar kompakt. Bei der Autosporenbildung bleiben die Zellen an einander haften.

C. cohaerens Chod. (5, S. 206).

B. Die Zellen erreichen 15 bis 30 μ im Durchmesser.

a. Die Kolonieen auf Glukose-Agar flach, sich seitlich ausbreitend. Die Zellen unregelmässig gerundet, birnenförmig oder ellipsoidisch.

C. irregularis Chod. (5 S. 205).

b. Die Kolonieen auf Glukose-Agar heben sich hoch von der Unterlage ab, mit Buckeln, Wällen oder Nerven ausgestattet.

Anmerk. Die *C. Cladoniae* Chod. (Vgl. Chodat s. 195) ist auf Glukose-Agar mit und ohne Pepton kultiviert worden, die *C. glomeratus* auf Glukose-Agar mit Asparagin bez. Alanin als Stickstoffquelle. Diese Verschiedenheit in den Kulturbedingungen, die zwar das Aussehen der Kolonieen beeinflusst, ist jedoch innerhalb des Rahmens dieser Einteilung nicht von Belang. Dasselbe bezieht sich auf *C. cohaerens* Chod. und *C. irregularis* Chod.

1. Die Zellen gerundet. Die Mutterzellen der Autosporen nicht an einander haftend.
   C. Cladoniae Chod. (5, S. 188).

2. Die Zellen meistens mehr oder weniger ellipsoidisch oder oval. Die Mutterzellen der Autosporen lange an einander haftend, wodurch oft grosse Kugeln von zahlreichen Zellen gebildet werden.
   C. glomeratus nov. spec. (S. 56).

B. Gonidien von anderen Typen.

1. Die Gonidien von Lecidea fuliginea Ach.

Coccobotrys Lecideae nov. spec.
(Taf. I, 8; II, 14).

In der Flechte sind die Gonidien zu kleinen Gruppen vereinigt, die in Kapseln von Hyphen eingeschlossen sind. Sie sind rund mit sehr dünner Membran und einem wandständigen Chromatophor ohne Pyrenoid. Auf Asparagin-Agar sind die Zellen ebenfalls rund oder etwas ellipsoidisch, von folgenden Durchmessern: 8/8; 8/8.5; 8.5/9; 8/9; 9/9; 8/10; 10/10 μ. Das Chromatophor kann in kleinere Teile zerfallen. Der Zellinhalt hat kleine grünliche und farblose Kügelchen und Pünktchen aufzuweisen. Die Alge vermehrt sich durch successive Zweiteilung; seltener werden in der Zelle gleichzeitig vier Autosporen gebildet (Taf. I, 8 a). Schwärmsporen werden nicht erzeugt.

In hängenden Tröpfchen frei wachsend bleiben die Zellen an einander haften und bilden feste Päckchen, die sich weiter vergrössern. Auf Asparagin-Agar werden feste, buckelige Kolonieen erzeugt, die sich steil von der Unterlage abheben und sich sogar nach oben verbreitern; das Zentrum des Gipfels kann wieder eingedrückt sein (Taf. II, 14). Nach

zwei bis drei Monaten fangen die Kolonieen an zu verblassen und werden grünlich gelb. Solche verblichene Kolonien erzeugen an ihrer Oberfläche zierliche, lebhaft grüne Knospen: sekundäre Kolonieen, die bei Kultur im Dunkeln besonders schön zur Entwicklung kommen.

Die Alge zeigt eine grosse Übereinstimmung mit *Coccobotrys Verrucariae* Chod. Stabinska (l. c. S. 32) gibt über die letztere folgende Diagnose: »Cellules sphériques 7—11 μ diam. Chromatophore vert en plaque. Pas de pyrenoide. Membrane mince peu colorable par l'iode. Multiplication par bipartition aboutissant à des colonies 4-cell. à membrane collective épaisse, libérant les cellules par déchirure, ou continuant à s'accroître en amas verruqueux par divisions dans les 3 direct. de l'espace.» Über die Kolonieenbildung äussert Chodat (l. c. S. 220): »En présence du glycose la croissance s'exagère; la multiplication se fait au-dessus de la surface du milieu solide et se manifeste par des proliférations irrégulières, grossièrement grumeuses et qui prennent finalement une apparence sébacée. Bientôt apparaît la décoloration et, dans la lumière, au bout de deux mois, parfois trois mois, toute la colonie est blanchie.» — »Les nouveaux thalles obtenus à partir de ces cellules incolores sur agar-glycose sont verts et ne se décolorent qu'à la longue.» Diese letztere Äusserung zeigt, dass die Zellen der verblassenen Kolonieen noch lebenskräftig sind, ebenso wie die verblichenen Kolonieen meiner Alge lebhaft grüne Knospen erzeugen können.

Diese recht grossen Übereinstimmungen in Bezug auf Zellen und Kolonieen berechtigen das Einreihen meiner Alge in die Gattung *Coccobotrys* Chod. Jedoch gibt es auch einige wichtige Differenzen. *Coccobotrys Lecideae* besitzt nicht eine solche Unregelmässigkeit in der Form der Zellen, wie die Zeichnungen von Chodat über *Coccobotrys Verrucariae* zeigen; die Gallertbildung ist wenig auffallend im Gegensatz zur *Coccobotrys Verrucariae* Chod., bei der das Gallertlager oft geschichtet zu sein scheint; *Coccobotrys Lecideae* wächst auch im Dunkeln, wo die verblichenen Kolonieen grüne Knospen erzeugen, während die *Coccobotrys Verruccariae* Chod. sich

nicht im Dunkeln entwickelt. (Chodat 5, l. c. S. 221: »Le *Coccobotrys Verrucariae* Chod. est donc une algue de lumière, incapable de se développer dans l'obscurité.») In Anbetracht dieser Differenzen glaube ich das verwandschaftliche Verhältnis dieser beiden Algen am besten auszudrücken, wenn ich meine Alge in der Gattung *Coccobotrys* Chod. als neue Art, *Coccobotrys Lecideae*, aufstelle.

2. Die Gonidien von Dermatocarpon miniatum (L).

In den lichenologischen Arbeiten machen *Cystococcus*, *Pleurococcus* und *Palmella* darauf Anspruch, die Gonidien von *Dermatocarpon* darzustellen. Nach Chodat (5, S. 238) kann es sich nur um eine mit der *Coccobotrys viridis* Chod. (= *C. Verrucariae* Chod.) verwandte oder identische Alge handeln. Da er jedoch noch keine Reinkulturen von der Gonidie gewonnen hatte, konnte er nicht angeben, ob mehrere Arten der Gattung *Coccobotrys* als Gonidien auftreten.

Es gelang mir, von der *Dermatocarpon*-Gonidie eine absolute Reinkultur zu gewinnen. In der Flechte zeigen die Gonidien eine gewisse Ähnlichkeit mit der »*Pleurococcus*», indem sie infolge ihrer Teilungsart in zweigliedrigen Gruppen auftreten. Sie haben die Grösse von 6.5/6.5—10 μ. Das Chromatophor stellt ein wandständiges Plättchen ohne Pyrenoid dar.

Wenn man isolierte Gonidien in hängenden Tröpfchen kultiviert, vermehren sie sich durch Zweiteilung und bilden anfangs 4-zellige Gruppen, die durch weitere Teilungen zu charakteristischen Päckchen mit einer gewissen Neigung zum Annehmen rechtwinkeliger Formen heranwachsen. Die Zellen werden durch ein dünnes Gallert zusammengehalten. Mit der Zeit wird jedoch die Regelmässigkeit der Formen gestört und es entstehen verschiedenartige Ausstülpungen. Die eigenartige Form der Päckchen wird durch die Teilung der Zellen zu 4-gliedrigen Gruppen bedingt, die sich nach

den drei Richtungen des Raumes ordnen. Schwärmsporen werden nicht erzeugt. Bisweilen zieht sich (insbesonders auf Gelatine) der Zellinhalt zu deutlich begrenzten, dunke grünen, runden Kugeln zusammen. Auf Asparagin-Agar sind die Zellen unregelmässig gerundet oder langgestreckt, in der Regel 3—3.2 μ breit und 4—5 μ lang; auf Gelatine werden sie länger, 3.2/6.5—8 μ; auf Ammoniumnitrat-Agar war die Grösse 3.2—4.8/3.2—9.7 μ; bisweilen wurde eine Grösse von 4.8/7, ja sogar 6.5/12.8 μ erreicht. Sie sind in der Flechte überhaupt grösser und rundlicher als bei der Kultur. Nach Stahl (l. c. S. 13) werden die kleinen und langgestreckten *Stichococcus*-ähnlichen Hymenialgonidien von *Endocarpon pusillum* grösser und rundlicher, wenn sie auf dem Objektträger mit den Keimschläuchen von *Endocarpon*-Sporen in Berührung kommen. Ebenso sind die Gonidien im Thallus der *Endocarpon* grösser und rundlicher.

Die Membran ist sehr dünn, von dünnem Gallert umgeben; das Chromatophor erscheint blassgrün; der Kern ist sehr klein und wegen anderer Körperchen im Protoplasma auch bei Färbung nur schwer zu erkennen. Bei Zweiteilung der Zellen befindet er sich in der Mitte der Zelle, an der Furche des sich teilenden Chromatophors.

Die Kolonieen sind flach, auf die Unterlage niedergedrückt. Auf Agar mit organischer Stickstoffquelle (Asparagin, Alanin Glykokoll, Pepton, Leucin) sind sie lebhaft grün, glänzend glatt und halbflüssig, so dass sie längs der schrägen Oberfläche des Agars allmählich herabfliessen. Auf Agar mit anorganischer Stickstoffquelle (Ammoniumnitrat, Ammoniumchlorid, Calciumnitrat) sind die Kolonieen kompakt, schwarzgrün und erhalten eine etwas unebene Oberfläche. (Taf. IX).

Auf Agar mit Asparagin, Alanin, Glykokoll oder Calciumnitrat als Stickstoffquelle wird die grüne Farbe beibehalten, während die Kolonieen auf Agar mit Ammoniumnitrat, Ammoniumchlorid oder Leucin nach zwei Monaten zu verblassen beginnen.

Gelatine wird verflüssigt. Alte Kolonieen können sekundäre Kolonieen erzeugen, die eine lebhaftere Farbe besitzen.

Die Vermehrungsart dieser Alge zeigt eine grosse Über-

einstimmung mit der von *Coccobotrys* Chod. Die Form der Zellen sowie die Beschaffenheit der Kolonieen ist jedoch in hohem Grade abweichend von derselben. In dieser Beziehung nähert sie sich einigen Arten der Gattung *Stichococcus* Nägeli und *Coccomyxa* Schmidle, von denen sie sich jedoch durch die Vermehrungsart unterscheidet. In Bezug auf die Vermehrungsweise könnte man sie wohl in die Gattung *Coccobotrys* Chod. als neue Art einreihen, wenn nicht Chodat bei dieser auch Sporangien mit acht Sporen sowie Teilungsvorgänge in den Zellen beobachtet hätte, die an die Zoosporenbildung erinnerten. Chodat, 5, S. 220: »Parfois les cellules se multiplient par division sporangiale ce qui veut dire que les plans de segmentation à l'intérieur de la cellule mère se dissolvant, les cellules filles (spores) sont isolées par quatre ou par huit. Plus d'une fois j'ai vu dans des cellules mères une division et des cellules filles qui semblaient devoir aboutir dans leur développement à des zoospores; mais quelque nombreuses qu'aient été mes observations je n'ai jamais vu sortir de ces sporanges des cellules mobiles. La production de zoospores reste donc problématique.»

Auch die Differenzen in Bezug auf die Kolonieen scheinen mir wichtig zu sein: die Kolonieen von *Coccobotrys Verrucariae* Chod. heben sich von der Unterlage mit unregelmässigen Ausstülpungen hoch (vgl. das Zitat auf S. 65 und Chodat 5, S. 10: »Plusieurs espèces s'élèvent beaucoup au-dessus du substratum: ce sont des espèces aérophiles pour lesquelles les conditions d'aération au contact du substratum sont insuffisantes. Parmi elles je cite les gonidies des lichens: *Cystococcus Cladoniae* Chod. (1 et 2), *Coccobotrys Verrucariae* Chod.»), während diejenigen von *Dermatocarpon*-Gonidien flach niedergedrückt sind und sich seitlich ausbreiten. Aus diesen Gründen ziehe ich es vor, die *Dermatocarpon*-Gonidie als neue, mit *Coccobotrys* Chod. verwandte Gattung aufzustellen:

Hyalococcus nov. gen.

Diagnose: Die Zellen unregelmässig gerundet oder langgestreckt mit sehr dünner Membran und parietalem, blass-

grünem Chromatophor ohne Pyrenoid. Vermehrung durch succedane Zweiteilung in vier Tochterzellen (Autosporen); diese bleiben anfangs zu zweit oder zu viert neben einander liegen, und indem die Zellen durch ein dünnes Gallert zusammengehalten werden, entstehen oft grössere feste Gruppen, die infolge der Anordnung der Zellen anfangs teilweise rechtwinkelige Formen annehmen. Sporangien mit mehr als vier Autosporen sowie Schwärmsporen fehlen. Die Kolonieen auf Agar (mit oder ohne Glukose, mit organischer oder anorganischer Stickstoffquelle) flach niedergedrückt, sich seitlich ausbreitend.

H. Dermatocarponis nov. spec. Die Charakteristik voranstehend. (Taf. I, 7).

3. Die Gonidien von Peltigera aphthosa L.

Die Gonidien sind in der Flechte unregelmässig gerundet oder ellipsoidisch, mit sehr dünner Membran und wandständigem Chromatophor ohne Pyrenoid. Sie zeigen hier eine gewisse Ähnlichkeit mit der »*Pleurococcus*». Wenn man eine solche Zelle isoliert und in einem hängenden Tröpfchen kultiviert, liefert sie durch Teilung ellipsoidische Zellen. Die Alge gehört zu der Gattung

Coccomyxa Schmidle.

Schmidle gibt über die Gattung folgende Beschreibung (l. c. S. 23): »Ausgebreitete, structurlose Gallertlager bildend. Zellen in demselben vereinzelt oder zu zweit oder zu viert genähert, länger als breit, mit ungleich gekrümmten Seiten und an den Enden abgerundet oder verschmälert, mit parietalem, chlorophyllgrünem Chromatophor, welches meist nur den Zellrücken bedeckt, und mit einem fein gekörnten Protoplasma mit einem Zellkern. Pyrenoide fehlen. Zellteilung innerhalb der Mutterzellen schief nach aufwärts verlaufend, meist simultan in zwei sich kreuzenden Richtungen, so dass vier Tochterzellen entstehen. Andere Zellvermehrung unbekannt.» — Die angegebene Grösse der Zellen

von *Coccomyxa dispar* Schmidle ist: 6—14 μ lang und 3—6 μ breit.

Chodat (5, S. 224) hat mehrere Arten der Gattung *Coccomyxa* beschrieben, bei denen die Gallertbildung weniger auffallend ist. Er gibt daher von der Gattung folgende modifizierte Diagnose (l. c. S. 224): »Cellulae baculiformes vel anguste ellipsoidae libere natantes, vel gelatina aggregatae, divisione contentus cellulae matricalis transversa dein obliqua multiplicatae. Sporae demum elongatae cellulae matricali similes i. e. autosporae binae vel quatuor.»

Die von Chodat aufgestellten Arten zeigen unter einander nur geringe Differenzen bezüglich der Grösse der Zellen und der Farbe der Kolonieen. Sie können nach Chodat auch als verschiedene Rassen derselben Art *Coccomyxa Solorinae* Chod. aufgefasst werden.

Es ist schwierig zu sagen, ob die von mir untersuchte Alge mit irgend einer von diesen Arten zu identifizieren ist. Wenn man die von Chodat beschriebenen elementaren Arten der Art *Coccomyxa Solorinae* Chod. unterordnet, wird meine Alge ihren Platz neben denselben einnehmen. Ich will sie *Coccomyxa Peltigerae* nennen.

Coccomyxa Peltigerae nov. spec.

(Taf. I, 9).

Das Chromatophor ist rein grün. Der Kern tritt mit Jod deutlich hervor und hat einen Nucleolus aufzuweisen. Bei der Zellteilung kann man die zwei Tochterkerne dicht an der Scheidewand der Tochterzellen erkennen. Die Vermehrungsweise ist schon von Schmidle vorzüglich beschrieben. Die Zellen bilden in der Regel 2 oder 4 Autosporen. Im ersteren Falle nehmen die Tochterzellen innerhalb der erweiterten Mutterzellenmembran eine charakteristische Stellung ein, indem sie ein wenig verschoben neben einander liegen (Taf. I, 9 e).

Die kultivierten Zellen sind 6.5—10 μ lang und 3—7 μ breit; sie sind in der Regel doppelt so lang als breit. Beobachtete Grössen: 10/5; 8/4; 8/5; 9/5; 10/4.5; 8/4.5; 7.2/5;

8/3.2; 6.5/3; 9/6.5; 8/6.5; 9/7 μ; eine typische Grösse und Form stellt 8.3/3.5 μ vor. Bezüglich der Grösse nähert sich die Art der Mikrospezies *Coccomyxa gracilis* Chod., für deren Zellen Chodat eine Grösse von 10/4, 10/5 und 8/2.5 μ angibt. Sie ist überhaupt grösser und breiter als die anderen Mikrospezies.

Die Kolonieen auf Asparagin- und Alanin-Agar sind flach, gerundet, glatt und spiegelblank; die Farbe ist bei Lichtkulturen dunkelgrün, bei Dunkelkulturen schwarzgrün. Bei alten Kulturen können die Ränder der Kolonieen durch seichte radiäre Furchen gelinde gestreift sein. Die Alge gedeiht sehr gut sowohl mit organischen (Asparagin, Alanin, Glykokoll, Pepton, Leucin) als auch anorganischen (Ammoniumnitrat, Ammoniumchlorid, Calciumnitrat) Stickstoffquellen. Acetamid ist jedoch ungeeignet. Auf Agar ohne besondere Stickstoffquelle wurde ein entschiedenes, jedoch schwaches Wachstum festgestellt. (Taf. VIII).

Rückblick auf die Ergebnisse.

Nach Schwendener herrschte in Bezug auf die Flechtengonidien die Ansicht, dass diese bei zahlreichen verschiedenen Flechten mit einander ganz identisch wären. Einige wenige Algenarten, unter denen *Cystococcus humicola* die Hauptrolle spielte, sollten in den verschiedensten Flechtenarten als Gonidien vorkommen. Hedlund (1899, 1906) hat als erster hervorgehoben, dass man unter dem Begriff »*Cystococcus humicola Nägeli*» wenigstens zwei verschiedene Algenformen zusammengefasst hat, die »*Xanthoria*-Alge» und die »*Cladonia*-Alge». Die Gonidienalgen sind nach ihm nicht mit der *Cystococcus humicola* zu identifizieren. Chodat (1913) hat dann auf Grund von Reinkulturen experimentell bewiesen, dass die *Cystococcus*-Gonidien mehrere Arten und Rassen umfassen: *Cystococcus Cladoniae* Chod. var. *furcatae* Chod. (aus *Cladonia furcata*) und var. *pyxidatae* Chod. (aus *Cl. pyxidata*) *C. irregularis* Chod. (aus *Cl. fimbriata*), *C. cohaerens* Chod. (epiphytisch auf *Verrucaria myriocarpa*) und *C. maximus* Chod. (epiphytisch auf *Verrucaria purpurascens*). Die Gonidien von *Verrucaria nigrescens* hat er als neue Gattung *Coccobotrys* Chod. mit der Art *C. Verrucariae* Chod. aufgestellt; gleichfalls hat er aus der Flechtengattung *Solorina* (*S. saccata* und *S. crocea*) eine neue Art, *Coccomyxa Solorinae* Chod. mit zwei Varietäten isoliert.

Auf Grund dieser Ergebnisse wirft Chodat die Frage auf, ob vielleicht jede Flechtenart ihre spezielle Gonidienform besitze. Das Ziel meiner Untersuchungen war der Versuch, diese Frage zu beantworten. Ehe das möglich war, war es notwendig, sich eine genaue Kenntnis über die Formen der

Flechtengonidien zu verschaffen. Das Charakterisieren der Gonidien wurde somit das Hauptziel meiner Arbeit.

Die Reinkulturmethode von Chodat, die mit der Koch'schen Plattengiessenmethode übereinstimmend ist, kann nicht als ganz einwandfrei angesehen werden. Sie liefert nicht sichere Garantieen dafür, dass die Kulturen aus einzelnen Zellen herstammen. Aus diesem Grunde habe ich bei meinen Untersuchungen die Kapillarmethode angewandt, wobei es mir gelang, aus den Gonidien Klonen heranzuziehen. In der Weise wurden die Gonidien folgender Flechten isoliert:

Alectoria implexa (Hoffm.)
» *jubata* (L.)
Cetraria pinastri (Scop.)
Cladonia coccifera (L.)
» *cornuta* (L.)
» *deformis* (L.)
» *fimbriata* (L.)
» *gracilis* (L.) v. *chordalis*
» *macilenta* (Hoffm.)
» *rangiferina* (L.)
Dermatocarpon miniatum (L.)
Lecanora subfusca (L.)
Lecidea fuliginea (*Ach.*)
Parmelia furfuracea (L.)
Peltigera aphthosa (L.)
Physcia ciliaris (L.)
» *obscura* (Ehrh.)
» *pulverulenta* (Schreb.)
» *stellaris* (L.)
Ramalina fraxinea (L.)
Xanthoria parietina (L.)

Anfangs wollte ich untersuchen, ob die aus den verschiedenen Flechtenarten isolierten Gonidien (hauptsächlich von *Cystococcus*-Typus) ernährungsphysiologische Differenzen aufweisen würden, speziell in ihrem Verhalten zu verschiedenen Stickstoffquellen. Die Gonidien zeigten in der Tat Differen-

zen, bezüglich der Wachstumsgeschwindigkeit und der Farbe der Kolonieen. Hierauf wurden die Untersuchungen erweitert, indem auch auf die Morphologie der Kolonieen sowie die Vermehrungsweise der Zellen Rücksicht genommen wurde. Dadurch wurde es mir möglich, viele Gonidien, die früher als mit einander identisch galten, von einander zu unterscheiden. Vor Allem möchte ich auf das wichtige Ergebnis hinweisen, dass die Flechtengattung *Cladonia* ihren eigenen Gonidien-Typus zu besitzen scheint, der von den *Cystococcus*-Gonidien der anderen Flechten unterscheidbar ist. Dieses Verhalten habe ich dadurch zum Ausdruck bringen wollen, dass von den *Cladonia*-Gonidien eine besondere Untergattung, *Eleuterococcus*, gebildet wurde, während die anderen *Cystococcus*-Gonidien in die Untergattung *Eucystococcus* zusammengefasst wurden. Die von C h o d a t beschriebenen *Cladonia*-Gonidien sind den meinigen sehr ähnlich, und dank den Mitteilungen, die H e d l u n d in Schweden gemacht hat, wird es wahrscheinlich, dass die *Cladonien* auch da ebensolche Gonidien besitzen, wie in Finnland und in der Schweiz.

Es wurde auch auf die Frage Rücksicht genommen, ob verschiedene Individuen derselben Flechtenart, die aus verschiedenen Gegenden herrühren, identische oder verschiedene Gonidien besitzen. In diesem Sinne wurden Exemplare von *Xanthoria parietina* aus verschiedenen Gegenden in Finnland mit in Holland eingesammelten Exemplaren verglichen. Es erwies sich, dass die Gonidien der holländischen *Xanthoria* sich von denjenigen der finnischen Flechte unterschieden. Dem entgegen zeigten sich die Gonidien der finnischen *Xanthorien* als identisch mit einander. Ebenso schienen zwei, aus verschiedenen Gegenden herstammende Exemplare von *Alectoria implexa* identische Gonidien zu besitzen.

Es ist noch nicht möglich, auf Grund dieser Untersuchungen eine endgültige Antwort auf die Frage zu geben, ob eine bestimmte Flechtenart immer dieselben Gonidien habe, und worauf es beruhe, was für eine Gonidie eine jegliche Flechte besitze. Viele Tatsachen sprechen für eine Konstanz des Gonidientypus bei einer bestimmten Flechtenart (*Xanthoria parietina* aus verschiedenen Gegenden in Finnland), andere

dagegen für das Gegenteil (die holländische und die finnische *Xanthoria*, sowie zwei verschiedene Exemplare von *Cladonia pyxidata* bez. *Solorina saccata* nach den Chodat'schen Untersuchungen). Jedenfalls beweisen die Ergebnisse über *Cladonia*-Gonidien, dass eine nahe Abhängigkeit zwischen der Art der Gonidien und derjenigen der Mutterflechte herrscht. Man kommt auf die früher schon viel besprochene Frage über die genetischen Beziehungen zwischen den Gonidien und den Flechtenhyphen zurück. Elfving (1913) vertritt die Ansicht, dass die Gonidien von den Flechtenhyphen erzeugt werden. Dieser Auffassung nach wäre es etwas ganz natürliches, dass verschiedene Flechten verschiedenartige Gonidien aufwiesen, ebenso, dass eine bestimmte Flechtenart ihren speziellen Gonidientypus besässe. Erweckt ja doch die Tatsache, dass die *Cladonien* in Finnland und in der Schweiz eine solche Übereinstimmung der Gonidien zeigen, Zweifel darüber, ob dieser Sachverhalt in einer synthetischen Erzeugung der Flechten ihren Grund habe. Man kann jedoch die Sache auch vom Standpunkt der Schwendener'schen Theorie betrachten, und auf die nahe Abhängigkeit hinweisen, die zwischen vielen Parasiten und ihren Wirtpflanzen festzustellen ist. Es könnten sich ja die Flechtenpilze ebenso gut auf die Gonidienalgen, als die parasitischen Pilze auf ihre Wirtpflanzen spezialisiert haben. Auf diesem Wege kommt man also nicht zu einer Entscheidung bezüglich der »Gonidienfrage». Ausserdem ist, wie schon bemerkt, noch unentschieden, inwiefern die Spezialität der Gonidien als Regel anzusehen ist, insbesonders weil die obengenannten Ergebnisse über die holländische und die finnische *Xanthoria*-Gonidie sowie diejenigen Chodat's über *Cladonia pyxidata* und *Solorina saccata* das Gegenteil zu beweisen scheinen. Chodat hält jedoch für möglich, dass in den Fällen, wo verschiedene Individuen derselben Flechtenart verschiedene Gonidien besassen, auch die Flechten selbst etwaige bisher übersehene Differenzen aufwiesen. Die Differenzen zwischen den Gonidien der verschiedenen *Cladonia pyxidata*-bez. *Solorina saccata*-Exemplare waren ausserdem nicht gross (Chodat spricht von Rassen); warum könnten nicht auch

die Flechten selbst physiologische Rassen aufweisen? Ist es weiter nicht möglich, dass die holländischen und die finnischen *Xanthorien* Rassen umfassen, welche sich durch die Gonidien von einander unterscheiden?

Die Flechten bieten also dem Forscher noch manche interessante Frage. Der Zweck dieser Arbeit ist, durch Beschreiben und Charakterisieren der Gonidien den Grund zu legen, auf dem die künftigen Untersuchungen der endgültigen Lösung dieser Fragen weiterarbeiten können.

Litteraturverzeichnis.

Andreesen. Beiträge zur Kenntnis der Desmidiaceen. (Flora, 1909, Bd. 99, S. 1).

Artari, A. (1.) Untersuchungen über Entwicklung und Systematik einiger Protococcoideen. Inaug.-Diss. Basel (Bull. de la Soc. Imp. des Nat. de Moscou, 1892).

—»— (2.) Zur Frage über die Ernährung der Flechtengonidien mit organischen Verbindungen (Sitzungsber. der Kais. Naturforscherges. in Moskau, 1898).

—»— (3.) Über die Entwicklung der grünen Algen unter Ausschluss der Bedingungen der Kohlensäure-Assimilation (Bull. de la Soc. Imp. des Nat. de Moscou, 1899, S. 39).

—»— (4.) Zur Ernährungsphysiologie der grünen Algen (Ber. d. Deutsch. Bot. Ges. Bd. XIX, Heft I, 1901. S. 7).

—»— (5.) Über d. Bildung d. Chloroph. durch grüne Algen (Ber. d. Deutsch. Bot. Ges. Bd. XX, 1902, S. 201).

—»— (6.) Zur Frage der physiologischen Rassen einiger grünen Algen (Ibidem, S. 172).

Baranetzky, J., Beitrag zur Kenntnis des selbständigen Lebens der Flechtengonidien (Pringsheim, Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. VII, 1869—1870, S. 1).

Beijerinck. Kulturversuche mit Zoochlorellen, Lichenengonidien und anderen niederen Algen (Bot. Zeitung, 48 Jahrgang, N:o 45—48, 1890).

Bonnier, G. (1) Rech. sur le dév. du *Physcia parietina* (Comptes Rendus des séances de L'Académie des Sciences, Paris, CVII, 1888, p. 142).

—»— (2) Rech. sur la synthése des Lichens (Annales des sciences naturelles. Bot. 7° série, Tome IX 1889).

Boresch, K. Die Färbung von Cyanophyceen und Chlorophyceen in ihrer Abhängigkeit vom Stickstoffgehalt des Substrates (Jahrb. f. wiss. Bot. 52, 1913, S. 145—185).

Bornet, E. Recherches sur les gonidies des Lichens (Annales des sciences naturelles Bot. V série, Tome XVII, 1873).

Charpentier. Rech. sur la physiologie d'une algue verte (Ann. Inst. Pasteur, Tome XVII, 1903, p. 321—369).

Chodat, R. (1.) Matériaux pour servir á l'histoire des Protococcoidees (Bull. de 1 Herb. Boiss., Tome II, 1894, Genève, p. 585).

—»— (2) *Pleurococcus* et *Pseudo-Pleurococcus* (Ibidem Tome VII, 1899, p. 827).

—»— (3) Algues vertes de la Suisse. Berne, 1902. P. 278.

—»— (4) Polymorphisme des Algues. Genève, 1909.

—»— (5) Matériaux pour la flore cryptogamique suisse. Vol. IV. Fasc. 2. Monographies d'Algues en culture pure. Berne, 1913. P. 186—238.

Elfving, Fredr. Untersuchungen über die Flechtengonidien (Acta Societatis Scientiarum Fennicæ, Tome XLIV, No. 2., 1913).

Famintzin, A. (1) Beitrag zur Entwicklungsgeschichte der Gonidien und Zoosporenbildung bei *Physcia parietina.* Vorläufige Mitteilung (Bot. Zeitung 1867, S. 186—190).

—»— (2) Die anorganischen Salze als Hilfsmittel zum Studium der Entw. nied. chlorophyllhalt. Organismen (Mélanges biol. St. Pétersbourg, I, VIII, 1871).

Famintzin und *Baranetzky, J.* Zur Entwicklungsgeschichte der Gonidien und Zoosporenbildung der Flechten (Mémoires de l'Académie des Sciences d. St. Pétersbourg. VII Série, Tome XI, 1867).

Freund, Hans. Neue Versuche über die Wirkungen der Aussenwelt auf die ungeschlechtliche Fortpflanzung der Algen (Flora, Bd. 98, 1904).

Häyren, E. Beobachtungen bei Kultur von Flechten-Fragmenten (Comptes rendus du Congrés des naturalistes et médecins du Nord à Helsingfors du 7 ou 12 juillet 1902. Sect. VII, p. 31—32).

Hedlund, T. (1) Om polymorphismen hos aerobiotiska klorophycéer (Öfvers. af Kongl. Vet.-Akad. Förh. Stockholm. 1899, No. 5).

—»— (2) Über den Zuwachsverlauf bei kugeligen Algen während des Wachstums (Botaniska Studier tillägnade F. R. Kjellman. Uppsala 1906).

Holm, Just Chr. Om Rendyrkningsmethoderne og særlig om Kochs Pladekultur og dens Fejlgrændse (Meddelelser fra Carlsberg Laboratoriet. III Bind. 1891—1894. S. 1.)

Klebs, G. Bedingungen der Fortpflanzung bei einigen Algen und Pilzen. Jena 1896.

Korniloff, Marie. Expériences sur les gonidies des *Cladonia pyxidata* et *Cl. furcata* (Bull. Soc. Bot. Genève sér. 2, vol. V., 1913, p. 114—132).

Küster. Kultur der Mikroorganismen. 1907.

Lindau (1). Die Flechten. Eine Übersicht unserer Kenntnisse. Berlin u. Leipzig, G. J. Göschen, 1913).
—»— (2). Kryptogamenflora für Anfänger. Bd. 3. Berlin 1913.
Petersen, J. B. Studier over Danske aërofile Alger (Mém. Acad. Royale des Sciences et des Lettres de Danemark. Copenhague 1915. 7 sér. Sect. d. Sc. Tome XII No. 7, p. 271—379).
Pringsheim. (1). Zur Physiologie der Schizophyceen (Beiträge zur Biologie der Pflanzen, von Ferd. Cohn, 1914, Bd. 12, S. 49).
—»— (2). Die Ernährung von *Hæmatococcus pluvialis* (ibidem, S. 413).
—»— (3). Zur Physiologie der *Euglena gracilis* (ibidem, S. 1).
Schmidle, W. Über drei Algengenera (Ber. d. Deutsch. Bot. Ges., Bd XIX, 1901, S. 20).
Schmitz, Fr. Beiträge zur Kenntnis der Chromatophoren (Pringsheim, Jahrbücher für wiss. Bot. XV, 1884, S. 1. Bau und Funktion der Pyrenoide S. 129).
Schwendener, S. (1). Die Algentypen der Flechtengonidien. Basel 1869.
—»— (2). Erörterungen zur Gonidienfrage. III. (Flora 1872, No. 15, S. 225).
Smith, G. M. Cytological Studies in the Protococcales (Annals of Botany XXX, 1916. I, S. 459 und II, S. 467).
Stabinska, M:me T. M. Recherches expérimentales sur la physiologie des gonidies du *Verrucaria nigrescens*. (Univ. Genève. Inst. bot. Prof. Chodat. Série 8, Fasc. XI, 1914, p. 352).
Stahl, E. Beiträge zur Entwicklungsgeschichte der Flechten. Heft II. Über die Bedeutung der Hymenialgonidien. Leipzig 1877.
Treboux, O. Die freilebende Alge und die Gonidie *Cystococcus humicola* in Bezug auf die Flechtensymbiose (Ber. d. Deutsch. Bot. Ges., Bd. XXX, 1912, Heft 2).
Treub. Lichenenkultur (Bot. Zeitung 1873, S. 722).
Woronin, M. Recherches sur les gonidies du lichen *Parmelia pulverulenta* (Annales des Sciences Naturelles V:e série. Botanique. Tome XVI, 1872, p. 317).
Zumstein, H. Zur Morphologie und Physiologie der *Euglena gracilis* (Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 34, 1900, S. 149).

Tafel I.

1. *Cystococcus Xanthoriæ v. zoosporifera* nach kurzer Einwirkung von Methylgrün.

2. Dieselbe. Entwicklungsstadien ein und derselben Zelle.

a) am 14 Okt. Ein vor kurzem abgerundeter Schwärmer.

b u. b¹) am 20 Okt. Mittlere und obere Ansicht.

c) am 21 Okt. 10 h Vm. Das Chromatophor hat sich geteilt.

d) „ „ „ 4 h Nm. Das Chromatophor hat sich weiter geteilt.

3. *Cystococcus Xanthoriæ* aus *Physcia ciliaris*. Schwärmer, von denen zwei vereinigt sind und einer soeben zur Ruhe gekommen ist.

4. *Cystococcus Xanthoriæ* auf Asparagin-Agar.

a) Ungeteilte Zelle.

b) Das Chromatophor teilt sich.

c-g) Vegetative Teilungsstadien. Die einfach-punktierten Linien bezeichnen die bei einer unteren, die zweifach-punktierten die bei einer oberen Tubuslage sichtbaren Zellen.

h) Vier soeben frei gewordene Autosporen, die aus einer Tetrade entstanden sind.

5. *Cystococcus intermedius*. Zellen aus einer hellgrünen Kolonie auf Asparagin-Agar.

a) Ungeteilte Zelle.

b-c) Das Chromatophor teilt sich.

d) Simultane Entstehung der Zellwände (schematisch).

e) Ein unreifes Zoosporangium.

f-i) Autosporangien.

j) Kernteilung: ein Stadium, das selten zu beobachten ist.

6. *Cystococcus glomeratus*

a) aus *Cladonia macilenta*. Kultur in Nährlösung. Das Pyrenoid in den jungen Zellen ist durch Jod sichtbar geworden.

b) aus *Cladonia cornuta*. Asparagin-Agar.

c) aus *Cladonia coccifera*. Asparagin-Agar.

d) aus *Cladonia deformis*. Asparagin-Agar. Sporangium mit zahlreichen abgerundeten Autosporen.

e) aus *Cladonia gracilis v. chordalis*. Die Zelle weist einen hellen Raum auf (Kern ?)

7. *Hyalococcus Dermatocarponis* in hängendem Tröpfchen; a und b Teilungsstadien.

8. *Coccobotrys Lecideæ*. Asparagin-Agar.

a) Simultane Teilung in vier Autosporen.

b-c) Succedane Zweiteilung.

9) *Coccomyxa Peltigeræ*. Asparagin-Agar.

a) Ungeteilte typische Zelle.

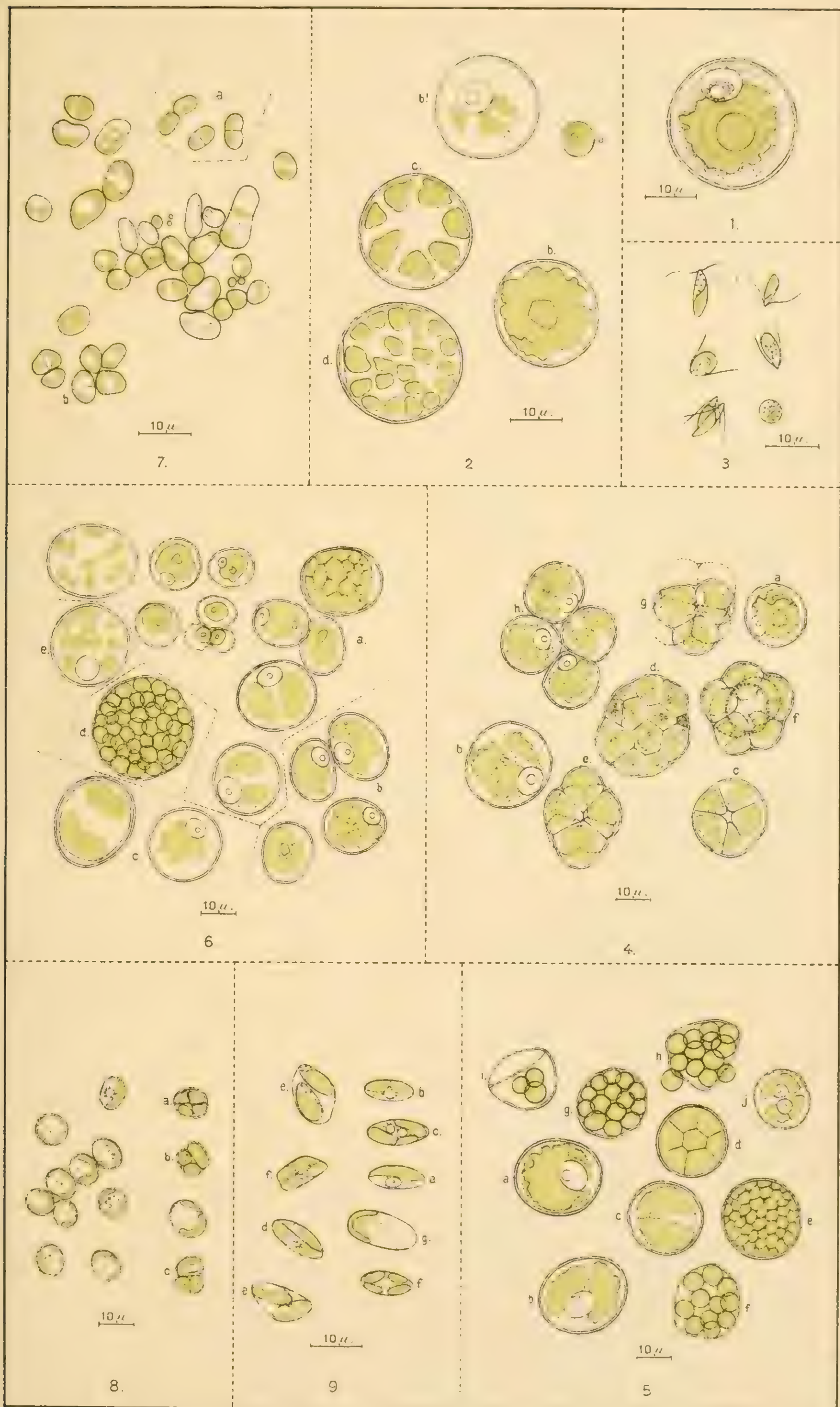
b) Das Chromatophor hat sich zweigeteilt.

c) Der Kern hat sich geteilt. Der Teilungsplan der Tochterzellen ist anfangs transversal.

d) Der Teilungsplan hat sich schief gestellt.

e) Tochterzellen in charakteristischer Stellung.

f) Teilung in vier Tochterzellen.



Harry Warén del.

1. 2.

6.

3

7.

4.

5.

8.

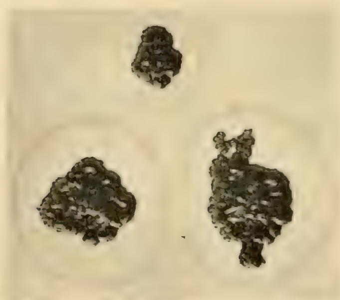
9.

10.

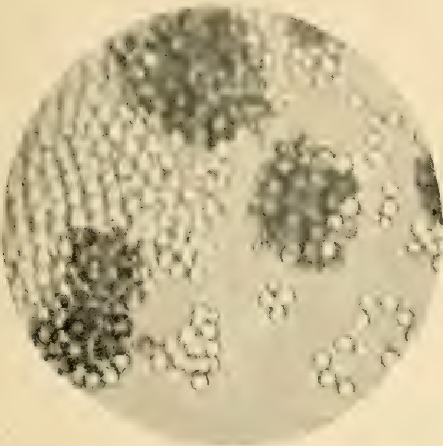
14 11



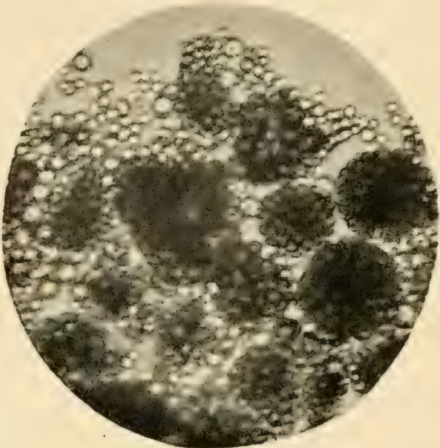
12.



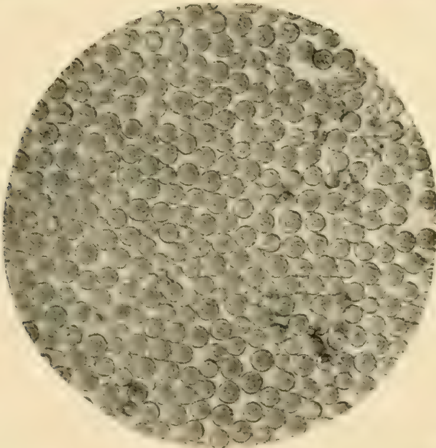
13.



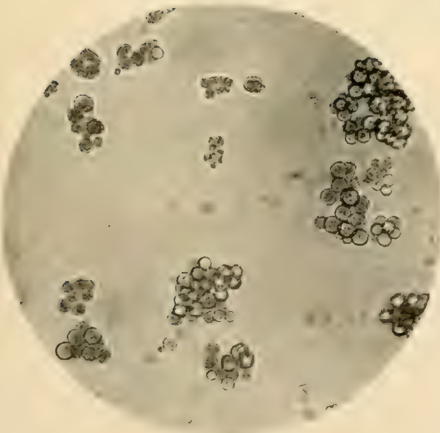
1.



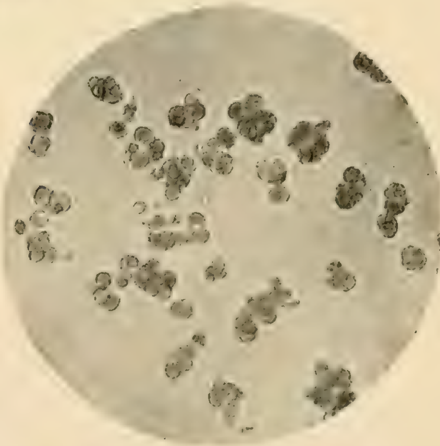
2.



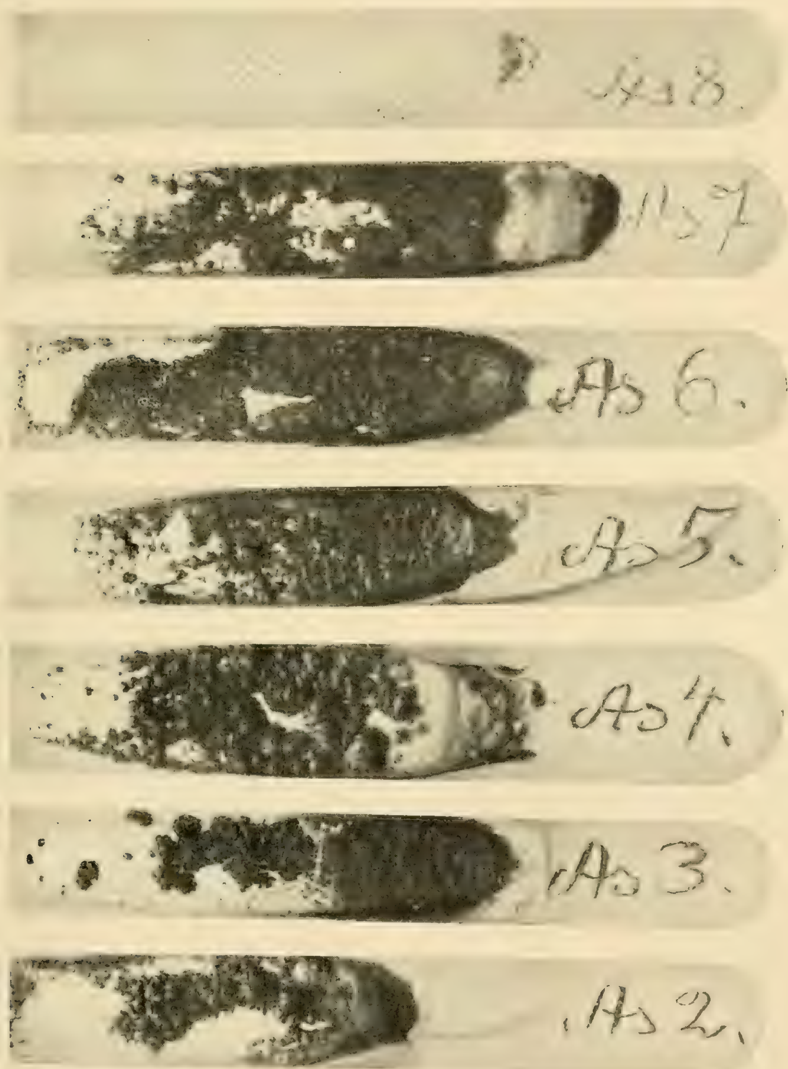
3.



4



5.



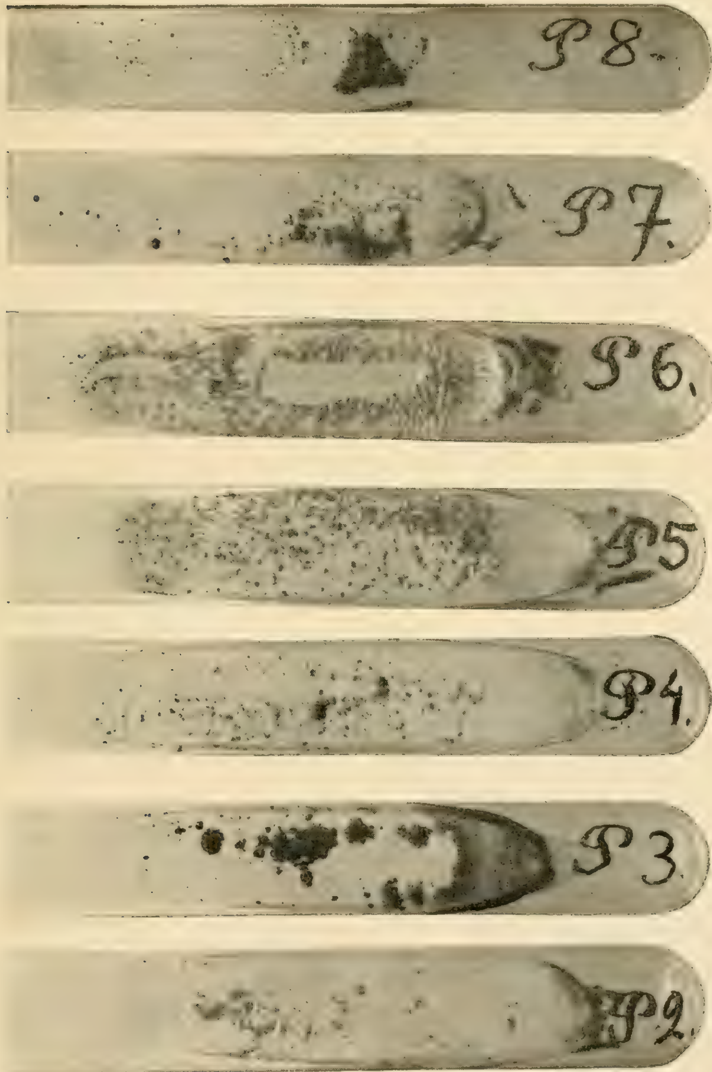
Die Kulturen von Cystococcus-Gonidien auf Asparagin-Agar.

Die Gonidien von *Gyrophora flocculosa* (2), *Physcia pulverulenta* (3), *Physcia ciliaris* (4), *Alectoria implexa* (5), *Parmelia furfuracea* (6), *Xanthoria parietina* (7), *Ramalina fraxinea* (8). — Alle Gonidien wachsen sehr gut, nur die Gonidien von *Ramalina fraxinea* sind bei dem Wachstum verspätet.



Die Kulturen von Cystococcus-Gonidien auf Alanin-Agar.

Die Zeichen = im Tafel IV. — Alle Gonidien wachsen sehr gut. Die Gonidien von *Ramalina fraxinea*, die sonst verspätet sind, zeigen hier ein besseres Wachstum als auf Asparagin-Agar (Tafel IV).



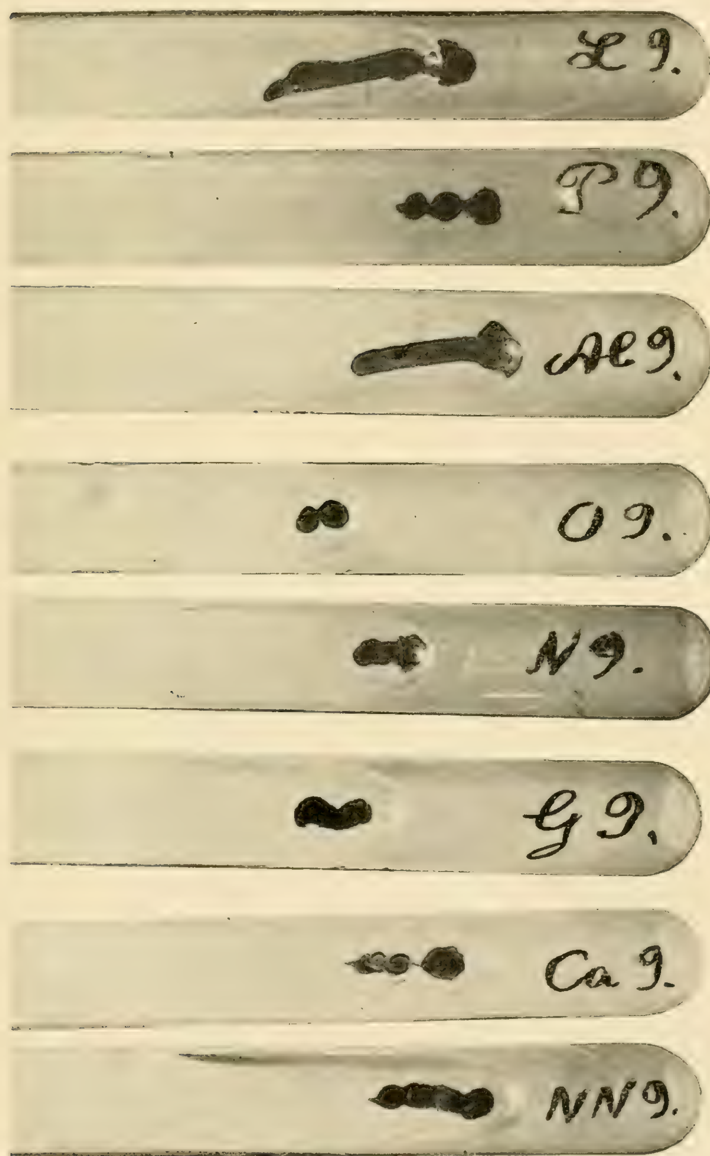
Die Kulturen von Cystococcus-Gonidien auf Pepton-Agar.

Die Zeichen = im Tafel IV. — Die Gonidien wachsen überhaupt schwach, diejenigen von *Physcia pulverulenta* (3) jedoch etwas besser als die anderen (die Kolonieengruppen sind hoch, was bei der Figur nur durch die dunklere Farbe hervorgeht).



Die Kulturen von Cystococcus-Gonidien auf Acetamid-Agar.

Die Zeichen = im Tafel IV. — Die meisten Gonidien sind schwach, diejenigen von *Alectoria implexa* (5) garnicht gewachsen. Eine Ausnahme machen die Gonidien von *Physcia pulverulenta* (3), die auffallend gut gediehen sind.



Die Kulturen von Coccomyxa-Gonidien mit verschiedenen Stickstoffquellen.

L = Leucin		*N* = Ammoniumchlorid	
P = Pepton		*G* = Glycocoll	
Al = Alanin		*Ca* = Calciumnitrat	
O = Ohne Stickstoffquelle		*NN* = Ammoniumnitrat	



Die Kulturen von Hyaloloccus-Gonidien mit verschiedenen Stickstoffquellen.

As = Asparagin; daneben ein Röhrchen mit Alanin, dessen Zeichen undeutlich ist. Die übrigen Zeichen = im Tafel VIII. Die Kolonieen sind mit den organischen Stickstoffquellen Asparagin, Alanin, Glycocoll, Leucin und Pepton halbflüssig geworden und haben sich über eine weite Fläche verbreitert (vgl. auch Tafel VIII; insbesonders *L* und *Al.*)

Öfversigt af Finska Vetenskaps-Societetens Förhandlingar.
Bd. LXI. 1918—1919. Afd. A. N:o 15.

Über die Bildung organischer Säuren durch Aspergillus niger.

Von

FREDR. ELFVING.

(Vorgetragen am 19. Mai 1919.)

Dass im Stoffwechsel der Pilze Oxalsäure häufig auftritt, ist längst bekannt. Unter dem Hinweis auf ältere Angaben über das Auftreten von Kristallen in den Pilzgeweben teilte DE BARY (1866, S. 13) eine grosse Menge ähnlicher Beobachtungen mit und schloss aus dem mikrochemischen Verhalten der Kristalle, dass sie aus Calciumoxalat bestanden.

Die erste auf Experimente gegründete Angabe über die Bildung von Oxalsäure rührt von DUCLAUX (1883, S. 219) her. Er fand, dass, wenn *Aspergillus niger* auf der Flüssigkeit von Raulin wächst, der Zucker nie verbrannt wird, ohne ein Zwischenprodukt zu liefern, das er als Oxalsäure erkannte. Die Menge der Säure nimmt anfangs zu, wenn aber nur wenig Zucker in der Lösung übrig ist, wird auch die Säure, neben dem Zucker, verbrannt, und diese Verbrennung zieht sich noch fort, nachdem aller Zucker verzehrt ist, sodass schliesslich auch die Säure aus der Lösung verschwindet.

Eine umfassende experimentelle Untersuchung, wobei hauptsächlich mit *Aspergillus niger* gearbeitet wurde, lieferte schliesslich WEHMER (1891). Er zeigte, dass beim Wachsen des Pilzes Bildung von Oxalsäure nicht immer nachgewiesen werden kann, unfehlbar aber eintritt, sobald im Stoffwechsel

basische Valenzen zu sättigen sind. Mit KNO^3 als Stickstoffquelle wachsend, erzeugt *Aspergillus* Oxalsäure, um das freiwerdende *Ka* zu neutralisieren, mit NH^4Cl wird dagegen keine Oxalsäure gebildet, da die Lösung ohnehin durch die freigewordene *HCl* sauer wird. Dies Verhalten des *Aspergillus* wird allgemein als ein hübsches Beispiel der selbstregulatorischen Wirksamkeit des Plasmas angeführt.

In seiner späteren Abhandlung aus demselben Jahre führt Wehmer noch weiter aus, dass Bildung und Zersetzung der Säure zwei nebeneinander verlaufende, voneinander in gewissem Grade unabhängige Prozesse sind, die unter bestimmten Verhältnissen einander das Gleichgewicht halten können, von denen jedoch nicht selten der zweite partiell unterdrückt wird.

Die vorliegende Untersuchung beabsichtigt die Versuche von Wehmer zu vervollständigen. Die Haupresultate derselben wurden schon vor 20 Jahren gewonnen; bei der abschliessenden Ausarbeitung hat mir Fräulein cand. phil. Hanna Lappalainen als Privatassistentin in dankenswertester Weise Hülfe geleistet.

Die Nährlösung, welche ich meist benutzte, enthielt 0.5 % Ammoniumchlorid, 0.25 % Monokaliumphosphat und 0.12 % krist. Magnesiumsulfat sowie Dextrose in wechselnden Mengen. Der Ausdruck $D^5.NH^4Cl$ gibt eine solche Lösung mit 5 % Dextrose an. Statt des Salmiaks kam auch Ammoniumnitrat zu Anwendung: $D^5.NH^4NO^3$. Auch reine Dextroselösung in destilliertem Wasser wurde benutzt: $D^5.H^2O$.

Als Kulturgefässe dienten Erlenmeyerkolben in den Grössen 300 resp. 500 cm³, jenachdem die Nährlösung 50 oder 100 cm³ betrug. Die Aussaat geschah durch Zufügung von 5 cm³ einer Sporenemulsion (Elfving S. 31). Alle Kulturen standen bei Lichtabschluss. — Die Oxalsäure wurde als Calciumsalz ausgefällt und dann bald aus dem geglühten *CaO* berechnet, bald titrimetrisch mit Kaliumpermanganat bestimmt. Die Bestimmung der Dextrose geschah teils nach dem von Kjeldahl ausgebildeten Verfahren unter Benutzung der Fehlingschen Lösung und Reduktion des ausgefällten Cu^2O im *H*-Strom, teils polarimetrisch mit einem vorzüglichen

Halbschattenapparat nach Lippich. Die Totalazidität einer Flüssigkeit wurde durch Titrieren von 10 cm³ derselben mit $\frac{n}{10}$ Natronlösung unter Anwendung von Phenolphtalein als Indikator bestimmt und dann auf Oxalsäure bezogen. Das Gewicht des produzierten Myzels wurde nach Trocknen bei 100° bestimmt.

Werden Sporen von *Aspergillus niger* auf reine Zuckerlösung ausgesäet, so entwickelt sich, infolge des Mangels an Nährsalzen, nur ein ganz kümmerliches Myzel. Wird dagegen aus einer auf vollständiger Nährlösung gemachten Kultur, die eine feste zusammenhängende Pilzdecke aufweist, die Nährlösung abgegossen und, nachdem auch ihre dem Myzel anhaftenden Reste mit Wasser abgespült sind, durch reine Zuckerlösung ersetzt, so steht die Entwickelung keineswegs still, sondern der Pilz nimmt unter immer andauerndem Zuckerverbrauch fortwährend an Gewicht zu. Diese Gewichtszunahme ist natürlich zum Teil auf die Rechnung der noch zwischen den Hyphen restierenden Nährlösung mit ihren anorganischen Salzen, welche eine fortgesetzte normale Entwickelung erlauben, zu schreiben [1]), zum grössten Teil hängt sie aber mit einer Neubildung, mit Zucker als Baumaterial, von nicht-stickstoffhaltigen Substanzen, vorwiegend wohl Membranstoffen, zusammen. Schliesslich kommt die Zeit, wo der Zucker ein Ende nimmt. Der Pilz gerät in Hungerzustand und ist genötigt das Material, das zur Erhaltung des Lebens notwendig ist, aus seinen eigenen Zellen zu schöpfen. Bei diesem Selbstkonsum nimmt sein Gewicht immer mehr ab, und schliesslich stirbt das Myzel.

Bei dem Wachsen auf reiner Zuckerlösung produziert *Aspergillus* anfangs bedeutende Mengen Oxalsäure. Später,

---

[1]) Über die Menge der Nährsalze, die in der Pilzdecke nach dem Abspülen vorhanden sind, gibt folgender Versuch eine Vorstellung. Von zwei 4-tägigen Kulturen auf 100 cm³ Nährlösung, welche 1 % Ammoniumchlorid enthielt, wurde die Flüssigkeit abgegossen, dann wurde zweimal mit destilliertem Wasser abgewaschen und schliesslich neue Lösung $D^5.H^2O$ zugegeben. Nach 5 Stunden bei 35° war in *A* 6.75 mg Stickstoff vorhanden, nach weiteren 25 Stunden in *B* nur 2.5 mg, offenbar infolge Verbrauches.

bei Mangel an Nährstoffen, wird die Säure wieder konsumiert.

Dies alles sieht man deutlich aus dem folgenden

Versuch I. 18 Parallelkulturen mit 50 cm³ $D^5. NH^4NO^3$ bei 35°. Nach drei Tagen wurde in einer das Trockengewicht des Myzels bestimmt: 1.00 g. Die übrigen bekamen neue Lösung von 50 cm³ $D^5.H^2O$ und wurden bei 20° stehen gelassen.

Zeit	Trockengew. d. Myzels	Vorhandene Dextrose	Oxalsäure	Total-azidität
	g	g	g	
17 St.	1.02	1.90	0.021	0.043
24	1.03	1.80	0.060	0.126
48	1.19	1.40	0.203	0.524
60	1.20	0.87	0.277	0.590
72	1.53	0.32	0.312	0.635
84	1.57	0.21	0.342	0.666
4 Tage	1.59	0.1	0.351	0.675
5	1.62	—	0.394	0.788
7	1.52	—	0.511	0.817
9 1/2	1.48	—	0.495	0.684
16	1.24	—	0.489	0.562
21	1.18	—	0.451	0.454
28	1.15	—	0.446	0.428
42	1.11	—	0.420	0.398
49	1.06	—	0.460	0.466
90	1.04	—	0.370	0.374
120	1.04	—	0.370	0.376

Das Myzel nimmt auf der reinen Zuckerlösung anfangs bedeutend an Gewicht zu, erreicht sein Maximum etwa am 4.—5. Tage, wo der Zucker beinahe verbraucht ist. Während dieser Zeit wird fortwährend Oxalsäure gebildet. Die Säuremenge steigt bis zum 7. Tage, wo sie etwa 1 % ausmacht, dann sinkt sie, aber der Pilz ist in diesem Falle nicht imstande alle Säure zu verbrauchen. Nach drei Monaten ist das Myzel, aus dem unveränderten Gewicht zu schliessen, abgestorben.

In diesem Versuch wurde aus 2.5 g Dextrose rund 0.6 g Pilzsubstanz und 0.5 g Oxalsäure gebildet; von den übrigen

Produkten des Stoffwechsels, Kohlendioxyd und anderen Ausscheidungsprodukten, sagt uns die Tabelle nichts, und sie werden auch fernerhin in dieser Untersuchung nicht berücksichtigt.

Oben war der Verbrauch der Oxalsäure erst nach dem Verschwinden des Zuckers nachzuweisen. Die beiden Substanzen können aber auch gleichzeitig verbraucht werden, wie in den beiden folgenden Versuchen.

Versuch II. 100 cm³ $D^1.NH^4Cl$. Nach 5 Tagen (25°) neue Lösung, 100 cm³ $D^{3.88}.H^2O$ (25°).

Tag	0	2	3	5	7	9
Dextrose g.......	3.88	2.23	1.37	0.65	0.37	0.12
Oxalsäure g	—	0.499	0.490	0.488	0.420	0.358

Versuch III. 100 cm³ D^3. *Pepton*³ NH^4Cl. Nach 5 Tagen bei 25° (in der Myzeldecke war dann 0.032 g Oxalsäure vorhanden) neue Lösung 100 cm³ $D^{4.03}.H^2O$ (25°).

Tag	0	2	4	6	8	10
Dextrose g	4.03	1.46	0.28	0.07	—	—
Oxalsäure g	0.032	0.439	0.367	0.199	0.148	0.117

Die angeführten Versuche sowie zahlreiche andere zeigen Verschiedenheiten sowohl inbezug auf die Menge der vorhandenen Säure als auf die Zeit des Säure-Maximums, aber der Hauptgang der Erscheinung ist in allen derselbe: auf reiner Dextroselösung zuerst reichliche Bildung von Oxalsäure, dann Konsumtion derselben.

Bei den bis jetzt erwähnten Versuchen wurde Oxalsäurebildung konstatiert, wenn die fertige Pilzdecke auf reine Dextroselösung übergeführt war. Die Säure wurde auch gebildet, wenn dem Pilz, unter sonst ähnlichen Umständen, statt Dextrose die folgenden Verbindungen in 4 % Lösungen geboten wurden: Rohrzucker, Milchzucker, Mannit, Inulin, Dextrin, Glycerin, Pepton, Asparagin (2 %). — Auch auf Weinsäure (1—2—4 %) wurden zuweilen ganz kleine Mengen Oxalsäure gefunden, dieser Stoff gehört aber entschieden in

eine andere Kategorie als die eben genannten. — Auf Alkohol (1—4 %) konnte weder nach ganz kurzer Zeit (14—24 Stunden) noch nach längerer (bis 5 Tage) Oxalsäure nachgewiesen werden; eine einmal auftretende Oxalsäurereaktion bin ich geneigt auf infolge unvollständigen Auswaschens der Pilzdecke restierenden Zucker zurückzuführen. — Auf reinem Wasser erfolgt keine Oxalsäurebildung.

Säurebildung durch *Aspergillus* auf Wasserlösung von Dextrose etc., wie wir sie jetzt kennen gelernt haben, schliesst sich nicht denjenigen von Wehmer studierten Fällen an, wo die Oxalsäurebildung durch das Freiwerden basischer Valenzen bedingt erscheint. Auf die event. Entstehung solcher konnte Wehmer mit Sicherheit schliessen aus der Zusammensetzung der Nährlösungen, von deren Bestandteilen die Pilzzellen aufgebaut werden sollten. Der Pilz sollte sich gewissermassen durch die Säurebildung gegen eine drohende alkalische Reaktion schützen. Bei den jetzt besprochenen Versuchen können wir nicht behaupten, dass eine solche Gefahr droht. Wie die komplizierten Stoffe in den lebenden Zellen zertrümmert werden, wissen wir zwar nicht — darüber äussert sich auch Wehmer nicht —, aber auf der reinen Dextroselösung liegen doch die Verhältnisse wesentlich anders als auf den Nährlösungen mit unorganischen Salzen. Wir sind, soweit ich sehe, nicht imstande auf freiwerdende basische Valenzen bei dem Verbrauch der Dextrose hinzuweisen. Im Gegenteil deutet alles darauf, dass bei der mit den Lebenserscheinungen innig verbundenen Oxydation aus der Dextrose, Säuren entstehen werden. In der Tat sehen wir Oxalsäure auftreten und die Lösung immer saurer machen, und es ist interessant zu sehen, wie der Pilz nicht imstande ist diese Nebenprodukte zu neutralisieren. Direkte Verwendung der gebildeten Säure scheint für den Pilz das einzige Mittel zu sein sie zu beseitigen.

Wehmer hat indessen einen offenen Blick gehabt für die Eventualität, dass Oxalsäure auch unter anderen Umständen gebildet wird. So sagt er (1891, S. 252): »Die factische Säureansammlung in den Kulturen kann ausser von basischen Einflüssen unter bestimmten Umständen noch von anderen

Momenten beeinflusst werden, die wir zur Zeit noch nicht ganz übersehen».

Nach meiner Erfahrung stellt die Säurebildung in reiner Dextroselösung gewissermassen den primären Fall dar, von welchem auszugehen ist bei der Beurteilung der Fälle, wo Säure nicht aufzuweisen ist.

Einwirkung der verschiedenen Salze der Nährlösung. Wenn man der Pilzdecke statt reiner Dextroselösung vollständige Nährlösung mit Ammoniumchlorid als Stickstoffquelle gibt, ist keine Oxalsäure in der Nährlösung nachzuweisen. Die unorganischen Salze der Nährlösung verhindern also die Bildung oder die Anhäufung der Säure. Wie diese Salze jedes für sich wirken, sieht man aus

Versuch IV. Sechs Tage alte auf $D^4.NH^4Cl$ bei 25° gewachsene Pilzdecken produzierten in weiteren fünf Tagen bei 25° auf

a) 4 % Dextroselösung		0.204 g	Oxalsäure
b) »	+ 0.5 % NH^4Cl	0.069 »	»
c) »	+ 0.25 » KH^2PO^4	0.287 »	»
d) »	+ 0.12 » $MgSO^4$ crist	0.209 »	»

Die Hauptrolle bei der Unterdrückung der Oxalsäurebildung auf vollständiger Nährlösung spielt also das Ammoniumsalz derselben. Dies tritt noch deutlicher hervor in dem folgenden

Versuch V. 9 Parallelkulturen auf 50 cm³ $D^5.NH^4NO^3$ (35°). Nach drei Tagen wurde das Trockengewicht des Myzels in einer Kultur bestimmt zu 0.85 g. Die übrigen acht bekamen neue Lösungen a)—h). Nach weiteren 7 Tagen bei 19°—20° war das Resultat:

	Oxalsäure	Myzel
a) 5 % Dextroselösung	0.44 g	1.40 g
b) » +0.2 % KH^2PO^4	0.45 »	1.33 »
c) » +0.12 » $MgSO^4$	0.43 »	1.30 »
d) » » +0.2 % KH^2PO^4	0.45 »	1.19 »
e) » +0.5 % NH^4NO^3	0.02 »	1.52 »
f) » » +0.2 % KH^2PO^4	0.05 »	1.43 »
g) » » +0.12 » $MgSO^4$	0.01 »	1.60 »
h) » » » +0.12 % KH^2PO^4	0.02 »	1.53 »

Sobald Ammoniumnitrat allein oder in Kombinationen mit den übrigen Nährsalzen vorhanden ist, sind nur unbedeutende Mengen von Oxalsäure vorhanden, während jene Nährsalze keinen merklichen Einfluss auf die Säurebildung haben. Hand in Hand mit der Unterdrückung der Säurebildung in der vollständigen Nährlösung geht eine Beförderung der synthetischen Vorgänge, wie aus den höheren Zahlen für die Trockengewichte ersichtlich ist.

Denselben hindernden Einfluss wie NH^4NO^3 (Versuch V) und NH^4Cl (Versuch IV) hat auch $(NH^4)^2SO^4$.

Der Vorgang auf reiner Dextroselösung, mit dem auf vollständiger Nährlösung verglichen, könnte so ausgedrückt werden, dass der Pilz bei Mangel an Stickstoff oder richtiger an Ammoniumsalzen Oxalsäure produziert. Dass die Oxalsäureanhäufung nicht durch jede beliebige *N*-Verbindung verhindert wird, sieht man unter anderem aus dem Verhalten des Pilzes in vollständiger Nährlösung mit $KaNO^3$ als Stickstoffquelle, wo Oxalsäure reichlich angehäuft wird (Wehmer). Aber den Ammoniumsalzen scheint eine spezifische Wirkung zuzukommen, und diese Wirkung ist, wie es scheint, nicht schwer zu verstehen. Die Ammoniumsalze sind überhaupt für den auf Zuckerlösungen wachsenden *Aspergillus* gute Stickstoffquellen. Bei der Synthese der *N*-haltigen Stoffen der Zellen wird aus ihnen NH^3 ausgenutzt, während die zugehörende Säure, wenn sie eine anorganische ist, mehr oder wenig unbenutzt übrig bleibt und die Lösung sauer macht, wenn sie aber eine organische ist, ebenfalls, ihres *C*-Gehaltes wegen, ausgenutzt wird. Speziell für Ammoniumoxalat hat Brenner (S. 54, 84) nachgewiesen, dass es eine ausgezeichnete *N*-Quelle ist für *Aspergillus*, der sich auf Dextroselösungen damit schneller entwickelt als mit Ammoniumnitrat, -chlorid und -formiat und eine vorzügliche Ernte gibt. Wenn sich also aus der Dextrose Oxalsäure bildet und zugleich ein Ammoniumsalz in der Nährlösung vorhanden ist, so wird voraussichtlich der Pilz bei seiner Synthese, zu welcher die Dextrose das Hauptmaterial liefert, sowohl die selbstproduzierte Oxalsäure als das Ammoniak ausnutzen und die unorganische Säure frei in der Lösung

liegen lassen. Die Oxalsäure wird also nicht angehäuft werden wie in den Kulturen ohne Ammoniumsalze.

Indessen ist die Sache nicht so einfach. Das sieht man, wenn man die Einwirkung der Ammoniumsalze organischer Säuren untersucht.

Versuch VI. Sieben Parallelkulturen auf 50 cm³ *Sacch*⁵ *NH⁴Cl* (35°). Nach 3 Tagen neue Lösungen. Nach weiteren 5 Tagen bei 23° war das Resultat:

			Oxalsäure g	Myzel g
5 % Rohrzucker			0.234	0.586
»	+1 % Ammoniumsulfat	(0.136)	0	0.784
»	+1 » Ammoniumtartrat	(0.098)	0.188	0.798
»	+1 » Ammoniumcitrat	(0.103)	0.216	0.799
»	+1 » Ammoniumsuccinat	(0.122)	0.391	0.688
»	+1 » Ammoniumacetat[1]	(0.118)	0.265	0.867
»	+1 » Ammoniumformiat[1]	(0.145)	0.337	0.768

Die Zahlen in Klammern geben die in den Lösungen vorhandenen NH^4-Mengen, die, wie man sieht, von derselben Grössenordnung sind.

Wir sehen, dass die Ansammlung von Oxalsäure, die von Ammoniumsulfat unterdrückt wird, bei Gegenwart der anderen Salze recht ungestört eintritt.

Das Auftreten resp. Nicht-Auftreten der Oxalsäure hängt also von der Beschaffenheit der Säure in dem wirksamen Ammoniumsalze ab. Voraussichtlich spielt hier die *H*-Ionen-Konzentration die Hauptrolle, worüber weitere Untersuchungen zu entscheiden haben.

Reaktion der Nährlösung. Die reine Dextroselösung hat neutrale Reaktion. Da in ihr mehr und mehr Oxalsäure auftritt, ist zu erwarten, dass die Säurebildung auch in einer von Anfang an sauer reagierenden Dextroselösung eintreten werde. Dies wird durch den folgenden Versuch bestätigt, der auch die Einwirkung der Alkalinität der Lösung beleuchtet.

---

[1]) Das Salz wurde nach der Sterilisierung der Nährlösung zugesetzt.

Versuch VII. 9 Parallelkulturen auf 50 cm³ $D^5.NH^4NO^3$ (35°). Nach drei Tagen wurden sie mit neuen, unten angegebenen Nährlösungen beschickt. Nach 7 Tagen bei 17° war das Resultat folgendes:

	Trockengewicht des Myzels g	Verbrauchte Dextrose g	Oxalsäure g
5 % Dextrose	1.29	1.99	0.457
» + H^2SO^4 0.01 %	1.36	2.16	0.428
» + » 0.05 %	1.43	2.17	0.319
» + » 0.1 »	1.41	2.18	0.329
» + » 0.5 »	1.35	2.00	0.052
» + » 1 %	1.02	1.04	0.000
» + Na^2CO^3 krist. 0.1 %	1.35	2.08	0.460
» + » 0.5 »	1.37	2.10	0.547
» + » 1 »	1.28	2.05	0.592

Man sieht, dass 1 % H^2SO^4 störend in den Stoffwechsel eingreift, indem sowohl das Trockengewicht des Myzels als die Menge der verbrauchten Dextrose auffallend gering sind, dass aber bei 0.5 % noch Oxalsäure gebildet wird, wenn auch nicht so viel wie bei den schwächeren Konzentrationen 0.01—0.1 %, welche eine recht ergiebige, wenn auch etwas geschwächte Säureansammlung gestatten. Schwache Alkalinität befördert dagegen die Bildung der Oxalsäure. Diese Beförderung kann unter Umständen bedeutend grösser sein, wie im folgenden

Versuch VIII. 50 cm³ $D^4.NH^4Cl$ (25°). Nach 5 Tagen neue Lösungen. Nach weiteren 3 Tagen bei 25° war auf

	Oxalsäure vorhanden	Dextrose konsumiert
4 % Dextrose	0.2265 g	1.55 g
» + Na^2CO^3 krist. 0.5 %	0.4091 »	1.86 »
» + » 1 »	0.4131 »	1.92 »

Diese Wirkung der Alkalien scheint in Übereinstimmung mit Wehmer's Auffassung zu stehen, dass die Oxalsäurebildung durch das Freiwerden basischer Valenzen beim Stoff-

umsatz befördert wird, aber, wie gesagt, die Säure wird auch in neutraler Lösung produziert und fortwährend, trotz Sauerwerden derselben, angehäuft.

Bedeutung des freien Sauerstoffes. Für die Bildung der Oxalsäure ist Zutritt freien Sauerstoffes nötig, denn in geschlossenem Kulturkolben erfolgt keine Säurebildung. Die Oxalsäure gehört also nicht zu den Produkten der intramolekulären Atmung.

Die Säurebildung bei verschiedenen Temperaturen. Mit Bezug auf die Einwirkung der Temperatur verhält sich die Oxalsäurebildung auf reiner Dextroselösung in derselben Weise wie die von WEHMER studierte auf vollständigen Nährlösungen stattfindende, d. h. die Anhäufung der Oxalsäure ist bei niedrigen Temperaturen bedeutend grösser als bei höheren. Unter sonst ähnlichen Bedingungen betrug in 5 % Dextroselösungen zu 50 cm³ das Maximum der Säure bei 19°—20° 0.51 g, bei 35° 0.19 g, bei 41° 0.08 g. Dies geht aus Vers. I sowie aus den beiden folgenden Versuchen deutlich hervor.

Versuch IX. 7 Parallelkulturen mit 50 cm³ $D^5.NH^4NO^3$ (35°). Nach drei Tagen neue Lösung: 50 cm³ $D^5.H^2O$ (35°).

Zeit	Trockengew. d. Myzels g	Vorhandene Dextrose g	Oxalsäure g	Total-azidität
2 St.	1.11	1.85	—	0.012
8	1.16	1.70	0.021	0.072
28	1.41	0.61	0.183	0.315
7 Tage	1.37	—	0.185	0.18
11	1.24	—	0.119	0.10
16	1.17	—	0.114	0.10
21	1.17	—	0.103	0.08

Versuch X. 18 Parallelkulturen mit 50 cm³ $D^5.NH^4NO^3$ (35°). Nach drei Tagen neue Lösung: 50 cm³ $D^5.H^2O$ (41°).

Zeit	Trockengew. d. Myzels g	Vorhandene Dextrose g	Oxalsäure g	Total-azidität
2 St.	1.04	2.07	Spuren	0.010
6 ½	1.21	1.70	0.015	0.029

Zeit	Trockengew. d. Myzels	Vorhandene Dextrose	Oxalsäure	Total-azidität
$9\,^1/_2$ St.	1.22	1.47	0.022	0.043
$21\,^1/_2$	1.32	1.19	0.047	0.104
28	1.36	1.04	0.064	0.184
33	1.51	0.77	0.069	0.247
45	1.53	0.68	0.077	0.298
57	1.63	0.21	0.082	0.293
69	1.61	0.00	0.071	0.286
81	1.50	—	0.066	0.261
93	1.54	—	0.059	0.250
5 Tage	1.63	—	0.045	0.097
6	1.60	—	0.028	0.031
7	1.52	—	0.026	0.027
9	1.50	—	0.018	0.023
11	1.45	—	0.010	—
16	1.31	—	0.026	0.027
21	0.99	—	0.006	0.008

Bildung von Citronensäure. Aus diesen beiden Versuchen ersieht man auch eine andere Tatsache, die sich schon aus dem Versuch I deutlich ergibt, dass nämlich die Azidität der Nährlösung nicht der darin enthaltenen Oxalsäure entspricht, sondern überhaupt grösser ist. Bei 20° zum Beispiel (Versuch I) ist die Totalazidität anfangs doppelt so gross, als wenn sie nur aus der vorhandenen Oxalsäure herrührte. Bei der von Tag zu Tag stattfindenden Anhäufung der Oxalsäure wächst natürlich auch die Totalazidität, ihre Zahl hält sich aber immer höher als die der Oxalsäure. Beide erreichen ihr Maximum gleichzeitig am 7. Tage. Von dieser Zeit an nehmen sie beide ab, die Totalazidität aber schneller, sodass vom 21. Tage ab die Zahlen gut miteinander übereinstimmen.

Ähnliches zeigt uns Versuch X. Das Maximum der Oxalsäure und der Totalazidität ist hier für die 57. Stunde notiert, etwa im Verhältnis 1 : 4; dann nehmen sie beide ab, aber so, dass die Zahlen vom 6. Tage ab etwa gleich sind. — Dasselbe finden wir im Versuch IX, wenn auch nicht so deutlich ausgeprägt wie in den längeren Serien.

Da wir absolut keinen Grund haben eine Ausscheidung unorganischer Säuren vonseiten des Pilzes anzunehmen, dürfen wir hieraus schliessen, dass anfangs neben der Oxalsäure eine oder mehrere andere organische Säuren gebildet und in der Nährlösung angehäuft werden und dass diese Säuren später vom Pilz verbraucht werden und zwar schneller als die Oxalsäure, sodass schliesslich diese allein zurückbleibt.

Was für Säuren mögen hier gebildet werden?

Eine Säure, die hier in Betracht kommen könnte, wäre Citronensäure, deren Bildung durch *Citromyces*, nahe verwandt mit *Aspergillus*, von Wehmer (1893) nachgewiesen ist. Zur Prüfung auf Citronensäure wurde, nachdem aus der Dextroselösung die Oxalsäure als Calciumsalz ausgefällt war, was, nach Zusatz von Ammoniak im Überschuss und nachträglicher Ansäuerung mit Essigsäure, mit Calciumacetat geschah, das Filtrat mit einigen Raumteilen Alkohol versetzt. Es entstand ein weisser Niederschlag. Wurde derselbe in Salzsäure gelöst, die Lösung mit Ammoniak übersättigt und gekocht, so entstand der Niederschlag aufs neue, was alles den Reaktionen der Citronensäure entspricht (Fresenius § 200).

Wenn auch aus diesen Versuchen mit grosser Wahrscheinlichkeit hervorging, dass in der Dextroselösung neben Oxalsäure Citronensäure gebildet war, so erscheint doch eine nähere Prüfung und Charakteristik des betreffenden Nebenproduktes wünschenswert. Es wurde demnach aus 3—5 Tage alten Kulturen auf reiner Dextroselösung eine grössere Menge der sauren Lösung gesammelt und daraus, nach Zusatz von Ammoniak im Überschuss, die Oxalsäure durch Calciumchlorid, ebenfalls im Überschuss, ausgefällt. Beiläufig sei bemerkt, dass der Niederschlag keine Reaktion auf Weinsäure gab. Das Filtrat, durch Ammoniak alkalisch, wurde auf dem Wasserbad einige Stunden gelinde erwärmt und über Nacht bei etwa 30° stehen gelassen. Eine schneeweisse kristallinische Masse bedeckte dann den Boden des Gefässes. Sie wurde abfiltriert und mit heissem Wasser gewaschen.

Nach den Vorprüfungen sollte sie aus Calciumcitrat $Ca^3 (C^6H^5O^7)^2+^4H^2O$ bestehen.

Dieses Salz verliert nach WÜSTENFELD sein ganzes Kristallwasser bei 125°—135°. Um unser Salz hierauf zu prüfen, wurde davon 0.9196 g erhitzt, bis es bei 130°—135° konstantes Gewicht zeigte. Der Gewichtsverlust war 0.1131 g, was 12.20 % entspricht. Das Kristallwasser des Calciumcitrats beträgt 12.46 %.

Beim Glühen hinterliess 0.2 g des Salzes 0.0578 g resp. 0.0610 g, im Mittel also 0.0594 g CaO, d. h. 29.70 %. Für das Calciumcitrat wäre die entsprechende Zahl 29.47 %.

Aus dem Salz wurde die Säure dargestellt. 6.5 g wurde in mit Salpetersäure angesäuertem Wasser gelöst und mit Bleiacetat versetzt, die Fällung abfiltriert, gewaschen und mit H^2S zersetzt. Das Filtrat, auf dem Wasserbad eingeengt, gab einen hellgelblichen Sirup von angenehmem saurem Geschmack. Nach 2½ Monaten war derselbe zu einem luftbeständigen Kristallkuchen (3.55 g) erstarrt, der nicht homogen war, sondern aus einer faserigen kristallinischen Grundmasse mit darinliegenden grösseren klaren Kristallen bestand, die den durch analoges Behandeln von Calciumcitrat erhaltenen Kristallen von reiner Citronensäure ähnlich aussahen. Von diesen Kristallen wurde 2.18 g ausgesucht und umkristallisiert. Die schliessliche Ausbeute war 1.12 g Säure.

Der Schmelzpunkt der durch Erhitzen bis auf 125°—130° wasserfrei gemachten Säure war 151°.5. Der der wasserfreien Citronensäure ist 153° (BEILSTEIN).

Bei zwei Elementaranalysen gaben je 0.2 g der Säure 0.2484 resp. 0.2492 g CO^2 und 0.083 resp. 0.083 g H^2O, also

gefunden	C 33.93 %	H 4.64 %
berechnet	C 34.28 »	H 4.76 »

Mit Sicherheit können wir also aussagen, dass neben Oxalsäure in den reinen Dextroselösungen auch Citronensäure gebildet wird. Dass im weiteren Verlauf der Entwickelung die Citronensäure schneller verbraucht wird als die Oxalsäure, steht vollkommen in Zusammenhang mit ihrem

höheren Nährwerte. Die Oxalsäure ist ja als hohes Oxydationsprodukt des Zuckers ein sehr schlechter Nährstoff.

Die relativen Mengen der Oxalsäure und Citronensäure in den Dextroselösungen lassen sich aus den in den Tabellen gegebenen Zahlen für Oxalsäure und für Totalazidität schätzen unter der Voraussetzung, dass ausser diesen Säuren keine andere gebildet wird. Bei 20° und bei 35° rührt die Azidität etwa zur Hälfte von der Oxalsäure her, bei 41° etwa nur zu $^1/_4$—$^1/_3$. Diese Verhältnisse sind indessen keineswegs für *Aspergillus niger* konstant.

Eine Vorstellung von den Verhältnissen, in welchen die beiden Säuren auftreten können, geben die folgenden Versuche, die eigentlich anderen Zwecken dienen sollten.

Versuch XI. Um eine etwaige Wirkung der Durchlüftung der Kulturen aufzudecken, wurden fünf Kolben mit 3 Tage alten Pilzen (50 cm³ *Sacch*⁵. *NH*⁴*Cl* bei 35°), die eben reine Rohrzuckerlösung (5 %) bekommen hatten, in verschiedener Weise hergerichtet: *A* mit gewöhnlichem Watteverschluss, *B* ebenso, aber das Myzel wurde untergetaucht, *C* die Mündung mit einem Pfropfen geschlossen, durch welchen ein Glasrohr (Länge 7 cm, Durchmesser 6 mm) die Luftzufuhr vermittelte; durch die zwei übrigen wurde ein Luftstrom (ca. 3 l in der Stunde) gesogen, der zuerst durch *D* und dann durch *E* strich. Die Kulturen standen bei Zimmertemperatur. Nach 8 Tagen war das Resultat

	Myzel g	Oxalsäure g	Citronensäure g
A	0.681	0.065	0.315
B	0.668	0.070	0.233
C	0.743	0.074	0.285
D	0.684	0.065	0.293
E	0.698	0.057	0.300

Versuch XII. In vier Kolben mit 50 cm³ *Sacch*⁵. *NH*⁴*Cl* wurden Sporen in verschiedenen Mengen ausgesäet und zwar 2.5, 5, 10 und 15 cm³ der Sporenemulsion. Nach drei Tagen bei 35° wurde die Nährlösung durch reine Rohrzuckerlösung (5 %) ersetzt. Nach 5 Tagen bei 21° war das Resultat

	Myzel g	Oxalsäure g	Citronensäure g
I (2.5)	0.906	0.097	0.630
II (5)	0.938	0.108	0.533
III (10)	1.113	0.148	0.585
IV (15)	0.993	0.128	0.419

Aus diesen beiden Versuchen sieht man, dass weder die Durchlüftung noch die Mengen der ausgesäeten Sporen einen auffallenden Einfluss auf die Säurebildung ausüben. Man sieht aber weiter, dass am 5. Tage bei den betreffenden Temperaturen 4—7 mal so viel Citronensäure als Oxalsäure gebildet wurde. Das Verhältnis der Säuremengen braucht aber nicht innerhalb dieser Grenzen zu liegen. Es wurde im Laufe der Untersuchung mehrmals beobachtet, dass die Oxalsäureproduktion unter sonst übereinstimmenden äusseren Bedingungen recht verschieden war. Man vergleiche zum Beispiel die Versuche VI und XII. Die Oxalsäuremenge kann noch kleiner ausfallen. Dies deutet auf Verschiedenheiten der ausgesäeten Conidien hin, was wiederum mit dem Vorkommen verschiedener physiologischer Rassen und Formen von der sonst einheitlichen Art in Zusammenhang stehen dürfte. Angaben über solche sind in den letzten Jahren von Schiemann und Brenner gemacht worden, ohne dass eine volle Einsicht in die Bedingungen ihres Auftretens und in ihre Eigenschaften gewonnen ist. Hier soll auch nicht versucht werden in diese verwickelte Frage einzudringen, aber es muss schon hier mitgeteilt werden, erstens, dass es möglich ist bei einem sonst Oxalsäure produzierenden Pilz das Auftreten dieser Säure bei fortwährender Ansammlung von Citronensäure gänzlich zu unterdrücken, und zweitens, dass es Rassen (?) von *Aspergillus niger* gibt, die unter Verhältnissen, wo sonst Oxalsäureansammlung eintritt, Citronensäure anhäufen.

Unterdrückung der Oxalsäure. Wehmer hat auf die Wirkung der Calciumsalze auf die Oxalsäurebildung aufmerksam gemacht. In der Nährlösung mit Ammoniumnitrat als Stickstoffquelle, wo sein Pilz normal etwas Oxalsäure produzierte,

wurde durch Zusatz von $Ca^3(PO^4)^2$ oder $CaCO^3$ die Säuremenge bedeutend gesteigert, durch $Ca(NO^3)^2$ oder $CaCl^2$ dagegen stark herabgesetzt, ja sogar unterdrückt. In der Nährlösung mit Ammoniumchlorid, wo keine Oxalsäure auftrat, konnte durch Zusatz von Phosphat diese Säure festgelegt werden (die Kulturen mit Calciumcarbonat wuchsen aus irgend einem Grunde nicht).

Für die Säurebildung auf reiner Zuckerlösung kann ich mitteilen, dass sie in der Weise von $Ca(NO^3)^2$ und $CaCl^2$ affiziert wird, dass die Oxalsäurebildung gänzlich unterdrückt wird: der Pilz produziert Citronensäure.

Versuch XIII. Drei Tage alte Pilze auf 50 cm³ *Sacch.*[5] NH^4Cl (35°). *A* bekam 50 cm³ *Sacch.*[5] H^2O, *B* dazu noch 1 % $Ca(NO^3)^2$. Nach 5 Tagen bei 21° enthielt

A	0.570 g	Citronensäure	0.252	Oxalsäure
B	0.458 »	»	keine	»

Versuch XIV. 10 Stück drei Tage alte Pilzdecken wie oben bekamen 50 cm³ *Sacch.*[5] H^2O, mit 1 % $CaCl^2$ versetzt, und wurden bei 21° stehen gelassen. Sie wurden paarweise untersucht. Sie enthielten

nach	3	Tagen	0.229 g	Citronensäure	aber keine Oxalsäure.
»	6	»	0.491 »	»	
»	9	»	0.431	»	
»	12	»	0.135 »	»	
»	15	»	Spuren von	»	

Die Einwirkung des Calciumcarbonates, welche Wehmer nicht feststellen konnte, wurde klargelegt durch

Versuch XV. Zwei Kulturen auf 50 cm³ *Sacch.*[5] NH^4Cl, mit 5 % $CaCO^3$ vor der Sterilisation versetzt, enthielten nach 25 Tagen bei 20° zusammen 0.405 Citronensäure, aber keine Oxalsäure, bei einem Myzelgewicht von 2.37 g.

Fehlen der Oxalsäure. Dass die für *Aspergillus* charakteristische Oxalsäurebildung nicht immer eintritt, ist schon Wehmer (1906) vorgekommen. Mit Staunen erwähnt er,

dass der Pilz, mit dem er in Hannover arbeitete, fast gar keine Säure produzierte, während *Aspergillus* in Leipzig ein ausgezeichneter Säurebildner war. Anfangs (1897, S. 102) war er geneigt einen physiologischen Unterschied zwischen den beiden Pilzen anzunehmen, später (1906, S. 381) meint er, dass eine ungleiche Beschaffenheit der verwendeten chemischen Präparate die Ursache gewesen sei. Ähnliches ist auch KUNSTMANN (S. 43) passiert; er fand nicht Oxalsäure in einer Nährlösung, der er Dinatriumphosphat zugesetzt hatte, eben um die Bildung dieser Säure hervorzurufen.

Ähnliche Erfahrungen habe auch ich gemacht, ich kann aber aussagen, dass bei meinen Versuchen nicht die chemische Beschaffenheit der angewandten Nährstoffe für die verschiedenen Resultate verantwortlich war, denn auf identischen Lösungen in identischen Gefässen wurden mit Pilzen aus verschiedenen Kulturen verschiedene Resultate gewonnen. Ein Beispiel, dass *Aspergillus*, auf reiner Zuckerlösung wachsend, keine Oxalsäure erzeugt, obgleich der Pilz reichlich organische Säuren, die später verbraucht werden, produziert, gibt uns

Versuch XV. Von einer *Aspergillus*-Form wurden vier Kulturen mit 50 cm³ $D^5.NH^4NO^3$ bei 35° gemacht. Nach drei Tagen wurde die Lösung durch $D^5.H^2O$ (20°) ersetzt. Die Totalazidität, angegeben durch die Anzahl cm³ $\frac{n}{10}$ *NaOH*, die zur Neutralisation von 10 cm³ Flüssigkeit notwendig waren, war

nach	3	5	7	9 Tagen
	29.4	23.6	17.4	0.8,

aber Oxalsäure war in keiner Kultur vorhanden.

Dass beim vollständigen Fehlen der Oxalsäure ebenfalls Citronensäure entsteht, ist zu erwarten und wurde gezeigt durch

Versuch XVI. Aus drei wie im Versuch XV gemachten, aber einer anderen Aussaat entstammenden Kulturen, die drei Tage mit $D^5.H^2O$ bei 20° gestanden hatten, wurden die Lösungen abgegossen und auf 150 cm³ gebracht. Keine

Oxalsäure war vorhanden. Die Totalazidität, wie oben angegeben, war nur 7.15; es war also relativ wenig Säure vorhanden. Als Citronensäure berechnet, sollte die Menge der Säure auf 100 cm³ 0.5005 g sein. Zur Säurebestimmung wurde aus 100 cm³ der Lösung in oben angegebener Weise das Calciumsalz dargestellt. Dasselbe wog 0.4329 g. Beim Glühen hinterliess es 0.140 g *CaO*. Da dieselbe Menge *Ca*-Citrat 0.141 g *CaO* gibt, dürfen wir auch hier das Salz als *Ca*-Citrat betrachten. Die entsprechende Menge Citronensäure ist 0.3523 g. Die Differenz (0.5005—0.3523 =) 0.1481 g zeigt an, dass auch andere Säuren in der Dextroselösung vorhanden waren; darauf haben auch verschiedene Reaktionen hingedeutet.

Es wäre hochinteressant genauere Kenntnis von dieser Säureproduktion zu erhalten, aber die Methoden zur Unterscheidung und Bestimmung der Pflanzensäuren, wenn mehrere verwandte Säuren vorhanden sind, sind zurzeit so wenig durchgearbeitet, dass diese Aufgabe der Zukunft überlassen werden muss.

Fragen wie nach der Herkunft der im Stoffwechsel unseres Pilzes entstehenden Oxalsäure, so liegt es nahe dieselbe als ein direktes Oxydationsprodukt des Zuckers zu betrachten. Wissen wir doch, dass bei der Oxydation des Zuckers, zum Beispiel durch Salpetersäure, Oxalsäure entsteht. Eine solche Auffassung kann man aus den kurzen Äusserungen DUCLAUX' herauslesen, wo er von der Verbrennung des Zuckers durch den Pilz zu Kohlendioxid und von der Oxalsäure als Zwischenprodukt bei der Verbrennung spricht. Genauer ausgeführt finden wir diese Ansicht bei WEHMER. Gerade so wie der Alkohol bei der Essigsäuregährung nicht vollständig zu CO^2, sondern teilweise zu Essigsäure oxydiert wird, gibt hier der Zucker neben CO^2 Oxalsäure. Es handelt sich hier wie dort um eine unterbrochene Atmung, und WEHMER

benutzt *ex analogia* den Ausdruck Oxalsäuregärung. Diese Auffassung ist sehr klar und einfach. Aber andererseits müssen wir uns erinnern, dass wir über die Herkunft des bei der Atmung auftretenden schliesslichen Oxydationsproduktes, des Kohlendioxydes, nicht hinreichend unterrichtet sind. Dass durch die Oxydasen in den lebenden Zellen CO^2 direkt aus Zucker abgespaltet werden kann, dürfen wir nach den Untersuchungen der letzten Jahre nicht bezweifeln, aber sicher ist, dass nicht alles Kohlendioxyd diese Herkunft hat, sondern dass solches auch auf Umwegen bei dem Zerfall der in den Zellen vorkommenden komplizierten Verbindungen entsteht. So könnte auch die Oxalsäure indirekt aus dem Zucker *via* komplizierterer Verbindungen erzeugt werden.

Was die Citronensäure betrifft, so hat WEHMER die Entstehung dieser Säure bei *Citromyces* ebenfalls auf eine unvollständige Atmung zurückgeführt. Dies kommt mir doch nicht ganz wahrscheinlich vor, da die Citronensäure nicht bei der direkten Oxydation des Zuckers gebildet wird. Später haben MAZÉ und PERRIER gezeigt, dass ihre Bildung in engem Zusammenhang mit dem Stickstoffumsatz in den Zellen steht, indem sie nämlich eintritt, erst wenn die Hauptmasse des Stickstoffs aus der Nährlösung verschwunden ist. Sie fassten die Sache so auf, dass die jungen Zellen bei Mangel an stickstoffhaltiger Nahrung ihren Stickstoffbedarf auf Kosten der alten Zellen decken, welche unter dem Einfluss proteolytischer Enzyme in Citronensäure und einen stickstoffhaltigen Rest zerfallen. Dass diese Deutung nicht richtig sein kann, hat WÜSTENFELD (S. 83) durch Versuche gezeigt, bei denen er die Pilzdecke zur Zeit ihres besten Wachstums aus der Kultur entfernte, wonach die Nährlösung sich nach einigen Tagen mit einer neuen Myzelschicht überzog, die ihrerseits Citronensäure produzierte und zwar annähernd ebenso viel wie das Myzel in einer Kontrollkultur, das vom Anfang des Versuchs sich ungestört entwickelt hatte. Hier kann, in den jungen Myzelien, eine Abspaltung von Citronensäure aus dem Protoplasma alternder Zellen wohl nicht in Frage kommen. Für die Citronensäure scheint also die direkte Bildung durch Oxydation des

Zuckers weniger wahrscheinlich als die indirekte *via* komplizierterer Verbindungen zu sein. Da beide Säuren von *Aspergillus* produziert werden und wenigstens zum Teil einander vertreten können, da weiter die Bildung beider in engem Zusammenhang mit dem Stickstoffumsatz in den Zellen steht, so haben sie wohl annähernd dieselbe Bedeutung im Stoffwechsel, und es kommt mir wahrscheinlich vor, dass auch die Oxalsäure, wenigstens zum Teil, erst auf Umwegen aus dem Zucker entsteht. Dafür spricht auch der Umstand, dass *Aspergillus* reichlich Oxalsäure produziert, wenn sie Pepton als einzige Kohlenstoffquelle zu Verfügung hat.

Zusammenfassung.

1) Auf einer reinen Lösung von Dextrose oder Saccharose entwickelt sich *Aspergillus niger* nicht, wird aber eine fertige Pilzdecke mit solcher Lösung ernährt, so produziert der Pilz reichlich Oxalsäure. Die Säure wird später zum Teil wieder verbraucht. In derselben Weise verhält sich der Pilz auf Lösungen von Milchzucker, Mannit, Inulin, Dextrin, Glycerin, Pepton und Asparagin.

2) Die Säurebildung wird durch Alkalinität der Lösung erhöht. Bei niedriger Temperatur ist sie bedeutend grösser als bei höherer. Sie ist vom Zutritt des freien Sauerstoffes abhängig.

3) Auf einer vollständigen Nährlösung, mit Ammoniumchlorid resp. -sulfat als Stickstoffquelle wachsend, bewirkt *Aspergillus* keine Ansammlung von Oxalsäure. Dies wird hauptsächlich durch das Vorhandensein des Ammoniumsalzes bewirkt. Ammoniumsalze verschiedener organischer Säuren haben diese Wirkung nicht. Voraussichtlich ist hierbei die H-Ionenkonzentration von entscheidender Bedeutung.

4) Neben Oxalsäure wird Citronensäure gebildet, oft in grösserer Menge als jene. Auch diese Säure wird später verbraucht und zwar vor der Oxalsäure. Nach gelegentlichen Beobachtungen werden auch andere Säuren gebildet.

5) Verschiedene Rassen des Pilzes haben ein verschiedenes Vermögen der Säureanhäufung. Es gibt solche, bei denen nur Citronensäure angehäuft wird.

6) Durch Calciumsalze wird das Auftreten der Oxalsäure, aber nicht der Citronensäure verhindert.

7) Die Oxalsäure wird, wenigstens zum Teil, wahrscheinlich nicht direkt aus dem Zucker, sondern, wie es für die Citronensäure anzunehmen ist, erst durch Zertrümmung komplizierterer Verbindungen gebildet.

Zitierte Litteratur.

de Bary, Morphologie und Physiologie der Pilze, Flechten und Myxomyceten. Leipzig 1866.

Brenner, W., Die Stickstoffnahrung der Schimmelpilze. 1914. (Centralblatt für Bakteriologie II. Abteilung Band 40).

Duclaux, Chimie biologique. Paris 1883. (Encyclopédie chimique publiée sous la direction de M. Fremy. T. IX, 1).

Elfving, F., Studien über die Einwirkung des Lichtes auf die Pilze. Helsingfors 1890.

Fresenius, Anleitung zur qualitativen chemischen Analyse. 1886.

Kjeldahl, J., Undersögelser over Sukkerarternes Forhold mod alkaliske Kobberoplösninger. Meddelelser fra Carlsberg Laboratoriet. B. IV, 1 (1895). Avec un résumé en français.

Kunstmann, H., Über das Verhältnis zwischen Pilzernte und verbrauchter Nahrung. Diss. Leipzig 1895.

Mazé et Perrier, Recherches sur la combustion respiratoire. — Production d'acide citrique par les Citromyces. Ann. de l'Inst. Pasteur 1904.

Schiemann, E., Mutationen bei Aspergillus niger van Tieghem (Zeitschr. f. indukt. Abstammungs- u. Vererbungslehre. Bd 8. 1912).

Wehmer, C., Entstehung und physiologische Bedeutung der Oxalsäure im Stoffwechsel einiger Pilze. Botanische Zeitung 1891.

— „ —, Ueber den Einfluss der Temperatur auf die Entstehung freier Oxalsäure in Culturen von Aspergillus niger van Tiegh. Berichte d. deutschen bot. Gesellschaft. Bd IX. 1891.

Wehmer, C., Zwei neue Schimmelpilze als Erreger einer Citronensäure-Gärung. Hannover und Leipzig 1893. (Beiträge zur Kenntnis einheimischer Pilze I).

— „ —, Kleinere mykologische Mitteilungen I. Zur Oxalsäuregährung durch Aspergillus niger. Centralbl. f. Bakteriologie II. Abt. Bd III. 1897.

— „ —, Die Bildung freier Oxalsäure durch Aspergillus niger. Berichte d. deutschen botan. Gesellschaft. Bd 24. 1906.

Wüstenfeld, Bildung von Citronensäure durch Citromyces. Diss. Berlin 1908.

Öfversigt af Finska Vetenskaps-Societetens Förhandlingar.
Bd. LXI. 1918—1919. Afd. A. N:o 16.

Über den Nährwert der Fichtenbaumrinde beim Menschen.

Von

Carl Tigerstedt.

(Aus dem physiologischen Institut der Universität Helsingfors).

I.

Im Laufe der vielen Notjahre, welche das Volk Finnlands durchgelebt hat, ist der Nährwert verschiedener Arten von Ersatznahrungsmitteln in grossem Umfange praktisch geprüft worden.

Von Alters her ist das aus der Fichtenbaumrinde hergestellte Mehl als das vorzüglichste unter diesen Ersatznahrungsmitteln erachtet worden, und wenn dasselbe nicht alle übrigen verdrängt hat, so ist dies zum grossen Teil wenigstens davon bedingt, dass die zur Bereitung des Mehls verwendbare Rinde nur gegen Ende des Frühlings und im Beginn des Sommers gesammelt werden kann, weshalb der Rohstoff oft gerade zur Zeit des grössten Bedarfs ermangelt hat.

Indessen ist die Anwendung des Rindenmehls bei der Nahrung des Menschen keineswegs auf Zeiten, wo Hungersnot in unserem Lande allgemein geherrscht hat, beschränkt gewesen; vielmehr ist die Bevölkerung in gewissen entfernt gelegenen Gegenden, insbesondere in den nordöstlichen und

östlichen Teilen des Landes, fast jährlich gezwungen, solches Mehl zu benutzen, denn daselbst genügt die Ernte sehr oft sogar nicht dem Bedarf des Ackerbauers, und die Anschaffung von Getreide von anderen Orten her wird durch die Armut der Bevölkerung und die überaus weiten Entfernungen in hohem Grade erschwert.

Dass die Baumrinde in grossem Umfange als Nahrungsmittel beim Menschen benutzt worden ist, gibt aber an und für sich noch keinen Beweis dafür ab, dass sie tatsächlich einen Nährwert besitzt. Ist ja die Renntierflechte nicht allein während früherer Notjahre sondern auch in der letzten Zeit als ein sehr vorzügliches Ersatznahrungsmittel empfohlen und auch ziemlich viel als solches benutzt worden, und nichtsdestoweniger hat das aus dieser Flechte hergestellte Mehl für den Menschen so gut wie keinen Nährwert [1]).

Betreffend den Nährwert der Baumrinde liegt meines Wissens nur eine einzige, direkte physiologische Untersuchung vor. Bei derselben wurde von v. Hellens [2]) an einer und derselben Versuchsperson die Ausnützung von drei verschiedenen Sorten Brot aus Rindenmehl, nämlich 1. einem aus $^1/_3$ Roggenmehl und $^2/_3$ Rindenmehl, 2. einem aus $^1/_2$ Mehl von ungeschälter Gerste und $^1/_2$ Rindenmehl, sowie 3. einem hauptsächlich aus Rindenmehl mit Zusatz von nur wenig Strohmehl hergestellten, untersucht. Das sub 3. erwähnte Brot wurde auch an einer zweiten Versuchsperson geprüft.

Die Resultate dieser Versuche sind in folgende Tabellen zusammengestellt.

Einnahmen im Brot.

Brot.	Versuchs-nummer und -person	Dauer des Versuch. Tage	Einnahmen pro Tag: Trocken-substanz; g	N; g	Fett; g	Kohle-hydrate; g	Asche; g	Kalorien (ber.)
I	1. A	3	277	4.8	7.7	228	10.6	1131
	2. »	3	277	4.8	7.7	228	10.6	1131
II	3. »	2	179	2.4	10.1	149	4.7	766
	4. »	2	179	2.4	10.1	149	4.7	766
III	5. »	2	137	1.1	10.0	116	4.5	596
	6. B	2	96	0.7	7.0	81	3.2	417

[1]) C. Tigerstedt, Om lafvar såsom människoföda. Helsingfors 1918.
[2]) v. Hellens, Finska Läkaresällskapets Handlingar, 55, s. 306; 1913.

Die täglichen Einnahmen bestanden in Versuch 1 und 2 aus 400 g Brot, 50 g Butter und 20 g Zucker, in Versuch 3 und 4 aus 200 g Brot, 100 g Butter und 20 g Zucker, sowie im Versuch 5 aus 150 g Brot, 50 g Butter und 20 g Zucker und im Versuch 6 aus 105 g Brot, 25 g Butter und 10 g Zucker.

Ausgaben im Kot.

Brot	Versuch	Kot pro Tag					
		Trockensubstanz; g	N; g	Fett; g	Kohlehydrate; g	Asche; g	Kalorien (ber.)
I	1	114	4.7	9.1	64	10.9	467
	2	105	4.4	10.4	56	11.4	439
II	3	86	3.4	6.9	50	7.6	356
	4	108	4.0	9.8	64	8.8	456
III	5	96	3.4	8.0	57	9.6	395
	6	65	2.9	8.9	28	9.3	272

Wie aus diesen Tabellen ersichtlich, wird von dem im Brote enthaltenen Stickstoff überhaupt nichts resorbiert, vielmehr ist in der Mehrzahl der Versuche die *N*-menge im Kot grösser als im genossenen Brot. In Bezug auf das Fett (= Aetherextrakt) findet sich dasselbe im Versuch 1, 2 und 6; im Versuch 4 ist die Fettmenge im Kot etwa gleichgross wie die im Brote aufgenommene; nur in den Versuchen 3 und 5 stellt sich die Fettmenge im Kot entschieden geringer als die im Brote verzehrte dar.

Dagegen ist die Aufsaugung der Kohlehydrate nicht ganz unbedeutend, und zwar beträgt sie in den einzelnen Versuchen 72, 75, 66, 57, 51 und 65 Proz. der aufgenommenen Menge derselben.

Dementsprechend ergibt die kalorische Berechnung der Versuche, dass von der gesammten im Brote zugeführten Energie bzw. 59, 61, 54, 40, 34 und 35 Proz. im Darme ausgenützt wurden.

Da v. Hellens zu seiner Verfügung nur fertig gebackenes Brot hatte und keine Gelegenheit vorhanden war, das dabei benutzte Rindenmehl zu analysieren, war es ihm auch nicht

möglich, die Ausnützung des Rindenmehls an und für sich näher zu präzisieren. Auch das Brot Nr III, das nach den ihm mitgeteilten Angaben hauptsächlich aus Baumrinde bestand, »zu welcher ein klein wenig Mehl aus Strohhalm zugemischt worden war», lässt die Verdaulichkeit der Baumrinde nicht ganz deutlich hervortreten, da ja das Halmmehl seinerseits auf die Tätigkeit des Verdauungsrohres hat einwirken müssen.

II.

Es war ursprünglich meine Absicht, schon im Herbst 1917 im Auschluss an meine von den kooperativen Gesellschaften Hankkija und S. O. K. finanzierte Untersuchung über den Nährwert des Flechtenmehls auch einige Versuche über die Ausnützung des Rindenmehls auszuführen. Die Anschaffung des nötigen Materials dauerte aber zu lange, und dann vereitelten die im Winter 1918 herrschenden politischen Verhältnisse jeden Versuch in dieser Richtung.

Da von Mitte April ruhigere Zeiten eintraten, zeigte es sich, dass unsere schon vorher verwickelte Ernährungsfrage mit einer katastrophenartigen Wendung drohte, und jetzt fanden die Lebensmittelbehörden des Staates es angezeigt, der Frage nach Ersatznahrungsmitteln ein allseitiges Interesse zu widmen.

Infolge dessen wurde u. a. das Einsammeln von Fichtenbaumrinde zwecks Mehlbereitung lebhaft unterstützt, und da der wirkliche Nährwert des Rindenmehls nicht bekannt war, bekam ich vom damaligen Vorstand der staatlichen Lebensmittelkommission den Auftrag, denselben näher zu untersuchen.

Dies fand Mitte Mai statt. Da, wie schon bemerkt, die Zeit, während welcher die Rinde gesammelt werden soll, am Ende des Frühlings und im Beginn des Sommers eintrifft, war es notwendig, die Frage möglichst schnell zu erledigen und die Versuche in der Weise durchzuführen, dass das Resultat in kürzester Zeit erzielt werden sollte.

Die Untersuchung erstreckte sich daher auf die Ermittelung der Ausnützung einer bestimmten Kost, welche drei Tage lang genossen wurde. Dieselbe bestand 1. aus einer, aus leicht resorbierbaren Nahrungsmitteln zusammengesetzten *Grundkost*, sowie 2. aus *Brot*, von etwa 1/4 Roggenmehl und 3/4 Rindenmehl gebacken.

Von der Grundkost sollten alle Versuchspersonen etwa die gleiche Menge geniessen; betreffend das Brot wurden diese aufgefordert, möglichst viel davon zu verzehren.

Die Zahl der Versuchspersonen betrug 11; bei einer derselben gelang indessen die Abgrenzung des Kotes nicht gut. Die folgende Mitteilung bezieht sich also auf Versuche an 10 Individuen.

III.

Da die aus der Grundkost und dem Roggenmehl des Brotes stammenden Bestandteile des Kotes nur einen ziemlich geringen Betrag des Gesammtkotes ausmachen dürften, wollte ich anfangs mich damit begnügen, die Ausnützung des Rindenmehls unter Anwendung einer theoretisch angenommenen Zahl für die Aufsaugung der Grundkost und des Roggenmehls zu berechnen.

Indessen wurde im Zusammenhang mit einigen nach genau demselben Verfahren ausgeführten Versuchsreihen über die Ausnützung der Hydrozellulose auch eine Reihe mit normaler Kost angestellt[1]). An dieser Reihe nahmen sieben von den bei der vorliegenden Versuchsreihe beteiligten Individuen teil. Bei der Berechnung der Versuche über die Ausnützung des Rindenmehls finde ich es deshalb angezeigt, die bei dieser Normalreihe erhaltenen Zahlen zu benutzen.

In dieser Reihe wurde eine Grundkost genossen, welche im grossen und ganzen von derselben Beschaffenheit war wie die bei den Versuchen mit Rindenmehl verabreichte. Sie bestand bei den 11 Versuchspersonen durchschnittlich aus 445 g Eiern (ohne Schaalen), 243 g Butter, 2,900 g Milch,

---

[1]) R. Tigerstedt und C. Tigerstedt, Öfversigt af Finska Vetenskaps-Societetens Förhandlingar, 61, Afd. A., N:o 3, s. 6; 1919.

270 g Käse, 279 g Wurst, 104 g Zucker und 60 g Heidelbeeren. Ausserdem wurden 535 g hartes Roggenbrot mit 481 g Trockensubstanz verzehrt. Diese Brotmenge übertrifft wesentlich die Menge Roggenmehl, welche bei den Versuchen mit Rindenmehl konsumiert wurde (durchschnittlich 152 g Trockensubstanz).

Da die im Roggenbrot enthaltenen Nahrungsstoffe unzweifelhaft etwas schlechter als die in der eigentlichen Grundkost verabreichten ausgenützt werden, dürfte also der in der Normalreihe beobachtete prozentige Verlust etwas grösser gewesen sein, als wenn die Kost der Grundkost und dem Roggenmehl in den Versuchen mit Rindenmehl vollständig entsprochen hätte. Daher ergibt die Berechnung über die Ausnützung des Rindenmehls wahrscheinlich eine etwas zu grosse Zahl, die indessen in praktischer Beziehung offenbar keine Rolle spielen kann.

Bei den sieben Versuchspersonen, welche an der Normalreihe teilnahmen, betrug der prozentige Verlust der Nahrungsstoffe wie folgt (Tab. 1).

Tab. 1. *Der prozentige Verlust der Nahrungsstoffe in der Normalreihe.*

Versuchsperson	Nr in der Normalreihe	Trockensubstanz	N	Eiweiss	Fett	Rohfaser	Übrige Kohlehydrate	Asche	Kalorien
1	1	9.4	9.4	9.4	6.5	69.2	7.9	21.5	7.8
2	9	9.2	16.1	16.1	7.5	72.2	4.5	22.6	8.1
4	4	9.2	15.3	15.3	6.0	72.2	4.9	32.6	7.4
5	3	9.9	14.7	14.7	6.3	82.3	6.1	27.9	8.1
6	17	5.9	6.3	6.3	3.6	53.3	4.4	19.0	4.6
8	7	8.5	9.1	9.1	4.9	93.3	6.1	25.9	6.5
9	13	10.0	13.5	13.5	7.7	76.9	6.0	27.2	8.5

Im Durchschnitt für alle 11 Teilnehmer betrug der Verlust in der Normalreihe:

für die Trockensubstanz	9.3	Proz.
für das Eiweiss	13.2	»
für das Fett	6.7	»
für die Rohfaser	68.8	»
für die übrigen Kohlehydrate	5.7	»
für die Asche	25.4	»
für die Kalorien	7.8	»

Bei der Berechnung der vorliegenden Versuche werde ich für die sieben Personen, welche an der Normalreihe teilnahmen, die in der Tab. 1 aufgenommenen Zahlen benutzen; für die drei übrigen gründe ich die Berechnung auf die soeben zusammengestellten Mittelwerte.

IV.

Das bei den vorliegenden Versuchen benutzte Rindenmehl wurde eigens für diesen Zweck von einem alten Mann bereitet, der, von den Verhältnissen gezwungen, für seinen eigenen Bedarf Rindenmehl immer wieder hergestellt hatte.

Über die Herstellungsweise sei folgendes hier mitgeteilt.

Das Einsammeln der Baumrinde findet im Frühling statt, sobald die Rinde anfängt sich vom Holz abzulösen. Die günstigste Zeit dafür ist die zweite Hälfte von Mai und die erste Hälfte von Juni. Allerdings löst sich die Rinde noch bis Ende August ab, ihr Geschmack wird indessen schon Ende Juni schlechter; inbesondere in Juli ist er stark bitter, und das daraus bereitete Brot hat einen unangenehmen Geschmack. Später löst sich die Rinde nur mit Schwierigkeit vom Holz ab.

Zum Einsammeln der Baumrinde werden junge Fichtenbäume, deren Stämme ein gutes Stück vom Gipfel eine dünne, glatte Rinde haben, ausgewählt. Nachdem der Baum gefällt ist, wird der Stamm entzweigt und die Rinde vom Gipfel her abgetragen. Dies findet am besten in der Weise statt, dass die Rinde um den Stamm herum in Entfernungen von etwa 1 Meter zirkulär durchschnitten wird; die einzelnen Teile werden in der Längsrichtung gespalten und die Rinde wird dann mit einem stumpfen Gegenstand abgetragen. Die so erhaltenen Stücke werden durchlöchert, auf einer Stange befestigt und zur Zerstörung des losen Staubes über Feuer gehalten. Der dabei entstehende Russ wird sorgfältig entfernt. Danach wird die Rinde

zuerst einen Tag im Freien und dann einen Tag in einem geheizten Zimmer getrocknet, in kleinere Stücke zerrieben und endlich in der Mühle zermahlen.

Diese Sorte vom Rindenmehl heisst, wegen der Behandlung der Rinde über freiem Feuer, *geröstetes Rindenmehl.*

Gekochtes Rindenmehl wird in sonst gleicher Weise bereitet, nur wird die Rinde nicht geröstet, sondern statt dessen während 2 bis 3 Stunden in reichlichen Mengen Wasser gekocht, dann von der Schlacke und der grünen Schicht reingekratzt, abgespühlt, getrocknet und in derselben Weise wie die geröstete Baumrinde zermahlen.

Die solcherart hergestellten Mehle unterschieden sich eigentlich nur in Bezug auf die Farbe, indem das »geröstete» Mehl hell graubraun, das »gekochte» hell rotbraun war. Das Mehl war nicht ganz fein zerrieben und in ihm fanden sich einzelne Rindenstückchen von bis zu 5 mm Länge. Ich hielt es indessen nicht für zweckmässig, das Mehl zu sieben, da besseres Rindenmehl als das zu meiner Verfügung gestellte wohl nur sehr selten vorkommen dürfte.

Das bei den Versuchen benutzte Brot wurde von 76 Proz. Rindenmehl und 24 Proz. Roggenmehl (als Trockensubstanz berechnet) gebacken. Es ist mir eine angenehme Pflicht der kooperativen Gesellschaft E l a n t o und deren Inspektrice Fräulein A. A r t u k k a für die Freundlichkeit, mit welcher sie bei der Herstellung des Brotes mir behilflich gewesen sind, auch an dieser Stelle meinen warmen Dank auszusprechen.

Das Rindenbrot hatte einen, für die meisten Versuchspersonen unangenehmen, stark bitteren Geschmack. Es wurde am ersten Tag als weich verabreicht; indessen stellte es sich heraus, dass das Brot nach Trocknen wesentlich leichter genossen werden konnte. Deshalb wurde es während der zwei letzten Versuchstage getrocknet verzehrt.

Wegen seines nicht besonders angenehmen Geschmackes wurde das Brot im allgemeinen nur in verhältnismässig geringer Menge genossen. Einigen Versuchspersonen gelang es indessen, ziemlich grosse Mengen davon zu bewältigen.

Die chemische Zusammensetzung der Trockensubstanz des Brotes ist aus Tab. 2 ersichtlich.

Von den 10 Versuchspersonen verzehrten N:o 1, 5, 7, 9 und 10 Brot aus gekochtem, und Nr 2, 3, 4, 6 und 8 Brot

aus geröstetem Rindenmehl. Da die verschiedene Herstellungsweise des Mehls in Bezug auf die Ausnützung im Darme kaum von irgend welcher Bedeutung sein dürfte, werde ich die Versuche mit den verschiedenen Brotsorten in einem Zusammenhang besprechen.

Tab. 2. *Die Zusammensetzung des Rindenbrotes.*

	100 g Trockensubstanz enthalten						
	N; g	Eiweiss; g	Fett; g	Roh-faser; g	Übrige Kohle-hydrate; g	Asche; g	Kalo-rien
Brot I							
Nach Analyse.	0.77	4.8	5.7	18.1	67.7	3.7	424
Berechnet . . .	0.81	5.0	5.6	17.9	68.8	2.6	429
Brot II							
Nach Analyse.	0.93	5.8	4.8	15.9	68.2	5 2	413
Berechnet . . .	0.76	4.7	5.4	17.7	69.1	3.0	422

Die letzte Mahlzeit vor dem Versuch wurde am Tage vorher um 5 Uhr nachm. genossen. Die letzte Versuchsmahlzeit fand am dritten Versuchstage um 5 Uhr nachm. statt. Dann wurde bis 9 Uhr vorm. am folgenden Tage gefastet.

Während der Versuchstage wurden je drei Mahlzeiten genossen, nämlich Frühstück um 9 Uhr vorm., Mittagsessen um 3 Uhr nachm. und Abendbrot um 7 Uhr (am 3. Tage um 5 Uhr) nachm.

An jedem Versuchstag wurde etwa ein Drittel der Grundkost verzehrt. Vom Brote wurde im Laufe der beiden ersten Versuchstage im Allgemeinen mehr als während des dritten aufgenommen.

Der Harn wurde in 24-stündigen Perioden von 9 Uhr vorm. an gesammelt.

Zur Abgrenzung des Kotes dienten getrocknete Heidelbeeren, welche zu der Grundkost gezählt wurden.

Von den Nahrungsmitteln wurden ziemlich grosse Mengen zur Analyse genommen, nämlich 3 × 150 ccm Milch, 200 g Butter, 200 g Käse, 300 g Wurst, 300 g Brot aus verschiedenen

Brotproben, drei Büchsen Oelsardinen. Mit Ausnahme der Butter wurden alle Esswaren vor der Analyse am Wasserbad getrocknet.

Der Kot wurde nach Zusatz von Schwefelsäure am Wasserbad getrocknet.

Die getrockneten Proben wurden fein zerrieben und an Stickstoff (K j e l d a h l), Fett (20-stündige Aetherextraktion nach vorausgegangener Zersetzung eventuel vorhandener Seifen mittelst verdünnter Salzsäure), Rohfaser (K o e n i g), Trockensubstanz und Asche analysiert. Die übrigen Kohlehydrate wurden als Differenz berechnet.

Aus dem Stickstoff wurde Eiweiss durch Multiplikation mit 6.25 erhalten; bei der Berechnung des Eiweisses in der Milch und dem Käse wurde indessen der Koeffizient 6.37 benutzt. Bei der Wurst wurde das Eiweiss als die Differenz zwischen der Trockensubstanz und der Summe von Fett und Asche berechnet.

Sowohl in der Kost als im Kot wurden die Kalorien nach den R u b n e rschen Standardzahlen, 1 g Eiweiss = 4.1 Kal., 1 g Fett = 9.3 Kal., 1 g Kohlehydrat (auch Rohfaser) = 4.1 Kal. berechnet.

Die Analysen sind von Fräulein H. O l i n und E. K u h l e f e l t ausgeführt worden. Ich benutze die Gelegenheit, ihnen für ihre dabei verwendete Sorgfalt und Mühe meinen besten Dank zu bringen.

Während der Versuchsdauer wurde mehr als die Hälfte der Versuchspersonen, unter ihnen auch diejenige, welche die kleinste Menge des Rindenbrotes aufgenommen hatte, von einem Urticaria ähnlichen, etwas juckenden Exanthem angegriffen, welches bei einigen unter ihnen nur an den Armen, bei anderen aber am ganzen Körper erschien. Ein paar Tage nach Ende des Versuches war das Exanthem wieder verschwunden.

Sonst befanden sich die Versuchspersonen gut. Eiweiss oder Zucker liess sich nicht im Harn nachweisen, und nur im Harn des ersten Versuchstages wurde bei der Versuchsperson Nr 3 bei der Reaktion von B a n g eine schwache Trübung beobachtet.

V.

Die beim Versuch genossene *Grundkost* bestand aus norwegischen Oelsardinen, Butter, Milch, Käse, Zucker und Heidelbeeren.

Das Alter und Körpergewicht der einzelnen Versuchspersonen sowie die von ihnen aufgenommenen Mengen der verschiedenen Esswaaren sind in Tab. 3 verzeichnet.

Tab. 3. *Genossene Nahrungsmittel.*

Versuchsperson	Alter Jahre	Körpergewicht; kg	Oelsardinen; g	Butter; g	Milch; g	Käse; g	Zucker; g	Heidelbeeren; g	Brot, Trockensubstanz; g
1 R. T.	65	89	316.5	198	2400	240	100	50	462
2 O. S.	46	67	316.5	270	2400	240	200	50	876
3 B.	—	—	316.5	270	2400	240	150	50	624
4 J. K.	38	55	316.5	270	2400	240	200	50	822
5 Y. R.	24	62	316.5	270	2400	240	150	50	574
6 C. T.	36	64	316.5	203	2400	240	150	50	623
7 H. R.	—	—	316.5	230	2400	240	150	50	663
8 L. W.	25	69	316.5	270	2400	240	150	50	860
9 E. S.	32	48	316.5	188	2400	240	175	50	447
10 Z. E.	23	49	316.5	200	2400	240	150	50	392
Mittel			316.5	237	2400	240	158	50	634

In Tab. 4 bringe ich eine Zusammenstellung der chemischen Zusammensetzung der benutzten Nahrungsmittel.

In Tab. 5 ist die Zusammensetzung der Grundkost aus den verschiedenen Nahrungsstoffen angegeben.

Die folgenden Angaben beziehen sich auf Tab. 4, S. 12.

[1]) Aus »gekochtem» Rindenmehl bereitet.

[2]) Aus »geröstetem» Rindenmehl bereitet.

[3]) Gekochtes.

[4]) Geröstetes.

[5]) Verunreinigungen; zum Teil Mineralöl.

Tab. 4. *Die chemische Zusammensetzung der Nahrungsmittel.*

	Trockensubstanz; %	N; %	Eiweiss; %	Fett; %	Rohfaser; %	Übrige Kohlehydrate; %	Asche; %	Kalorien pro 100 g.
Oelsardinen . .	37.4	3.06	19.1	12.3	—	1.7 [5])	4.3	200
Butter	89.9	0.01	0.1	86.6	—	2.2	1.1	815
Milch	11.5	0.44	2.8	3.3	—	4.9	0.6	62
Käse	50.4	5.13	32.1	9.5	—	2.8	6.0	232
Zucker	100.0	—	—	—	—	99.9	Spuren	410
Heidelbeeren . .	88.3	—	—	—	13.5	71.3	3.5	348
Rindenbrot I [1])	94.5	0.73	4.5	5.4	17.1	64.0	3.5	401
» II [2])	94.2	0.88	5.5	4.5	15.0	64.2	4.9	389
Rindenmehl I [3])	94.5	0.49	3.0	6.2	21.6	61.1	2.6	409
» II [4])	94.7	0.42	2.6	6.0	21.4	61.5	3.1	407
Roggenmehl . .	89.1	1.55	9.7	2.4	1.9	73.3	1.9	371

Tab. 5. *Die chemische Zusammensetzung der Grundkost.*

Versuchsperson	Trockensubstanz; g	N; g	Eiweiss; g	Fett; g	Rohfaser; g	Übrige Kohlehydrate; g	Asche; g	Kalorien
1	838	32.4	204	312	7	268	45	4870
2	1003	32.4	204	374	7	370	46	5866
3	953	32.4	204	374	7	320	46	5661
4	1003	32.4	204	374	7	370	46	5866
5	953	32.4	204	374	7	320	46	5661
6	892	32.4	204	316	7	318	45	5116
7	916	32.4	204	340	7	319	45	5335
8	953	32.4	204	374	7	320	46	5661
9	904	32.4	204	303	7	343	45	5096
10	890	32.4	204	314	7	318	45	5091
Mittel	931	32.4	204	346	7	327	45	5422

Zwischen der Normalreihe und der vorliegenden Versuchsreihe findet sich in Bezug auf die Grundkost die in Tab. 6 angegebenen Differenzen vor.

Tab. 6. *Der Unterschied zwischen der Grundkost in dieser Reihe und in der Normalreihe* [1]).

Versuchsperson	Trockensubstanz; g	N; g	Eiweiss; g	Fett; g	Rohfaser; g	Übrige Kohlehydrate; g	Asche; g	Kalorien
1	— 256	— 17.1	— 108	— 157	0	+ 51	— 44	— 1685
2	— 270	— 16.1	— 102	— 149	0	+ 24	— 45	— 1698
4	— 37	— 7.8	— 48	— 42	0	+ 67	— 16	— 306
5	— 311	— 17.1	— 108	— 134	0	— 27	— 45	— 1791
6	— 322	— 16.6	— 105	— 147	0	— 28	— 44	— 1908
8	— 199	— 16.8	— 107	— 153	0	+ 103	— 45	— 1425
9	— 380	— 16.9	— 107	— 225	0	— 4	— 46	— 2537
Mittel	— 254	— 15.5	— 98	— 130	0	+ 27	— 41	— 1621

Tab. 7. *Die Zusammensetzung des Brotes.*

Versuchsperson	Trockensubstanz; g	N; g	Eiweiss; g	Fett; g	Rohfaser; g	Übrige Kohlehydrate; g	Asche; g	Kalorien;	Art des Brotes
1	462	3.5	22	27	83	313	17	1963	I
2	876	8.2	51	42	140	597	46	3620	II
3	624	5.9	37	30	100	426	33	2581	II
4	822	7.7	48	39	131	560	43	3397	II
5	574	4.4	28	33	104	389	21	2439	I
6	623	5.8	36	30	99	425	33	2573	II
7	663	5.1	32	38	120	449	25	2816	I
8	860	8.1	50	41	137	587	45	3555	II
9	447	3.4	21	26	81	302	17	1896	I
10	392	3.0	19	23	71	266	15	1666	I
Mittel	634	5.5	34	33	107	431	30	2651	

Bei den sieben Versuchspersonen, welche an beiden Versuchsreihen teilnahmen, enthält die Grundkost in der

[1]) Ein — gibt an, dass die Menge des betreffenden Nahrungsstoffes in der vorliegenden Reihe kleiner als in der Normalreihe gewesen ist.

vorliegenden Reihe durchschnittlich 254 g Trockensubstanz, 98 g Eiweiss, 130 g Fett und 41 g Asche weniger, dagegen 27 g Kohlehydrate mehr als in der Normalreihe. Die Differenz in Bezug auf die Kalorienaufnahme beträgt durchschnittlich 1,621 Kalorien.

Während der drei Versuchstage genossen die Versuchspersonen durchschnittlich 634 g Brot (vgl. Tab. 7, s. Seite 13).

Die grösste Brotmenge wurde von der Versuchsperson Nr 2 (876 g Trockensubstanz), die geringste von der Versuchsperson Nr 10 genossen (392 g Trockensubstanz).

Im Durchschnitt enthielt das genossene Brot 5.5 g *N*, 34 g Eiweiss, 33 g Fett, 107 g Rohfaser, 431 g übrige Kohlehydrate, 30 g Asche, in Summa 2,651 Kalorien. Der Verbrennungswert des Brotes beträgt also etwa die Hälfte von dem der Grundkost (5,422 Kalorien). An Kohlehydraten, Rohfaser und übrigen Kohlehydraten, bringt das Brot 61 Proz. mehr als die Grundkost, dagegen bzw. 83 und 90 Prozent weniger an Eiweiss und Fett.

Tab. 8. *Die Zusammensetzung des im Brot enthaltenen Roggenmehls.*

Versuchs-person	Trocken-substanz; g	N; g	Ei-weiss; g	Fett; g	Roh-faser; g	Übrige Kohle-hydrate; g	Asche; g	Kalo-rien
1	111	1.9	12	3	2	91	2	460
2	210	3.7	23	6	5	173	4	872
3	150	2.6	16	4	3	123	3	622
4	197	3.4	22	5	4	162	4	819
5	138	2.4	15	4	3	113	3	572
6	150	2.6	16	4	3	123	3	620
7	159	2.8	17	4	3	131	3	660
8	206	3.6	23	6	4	170	4	857
9	107	1.9	12	3	2	88	2	445
10	94	1.6	10	3	2	77	2	391
Mittel	152	2.7	17	4	3	125	3	632

Tab. 9. *Die Zusammensetzung des im Brote enthaltenen Rindenmehls.*

Versuchsperson	Trockensubstanz; g	N; g	Eiweiss; g	Fett; g	Rohfaser; g	Übrige Kohlehydrate; g	Asche; g	Kalorien
1	351	1.6	10	24	81	222	15	1503
2	666	4.5	28	36	135	424	42	2748
3	474	3.3	21	26	97	303	30	1959
4	625	4.3	26	34	127	398	39	2578
5	436	2.0	13	29	101	276	18	1867
6	473	3.2	20	26	96	302	30	1953
7	504	2.3	15	34	117	318	22	2156
8	654	4.5	27	35	133	417	41	2698
9	340	1.5	9	23	79	214	15	1451
10	298	1.4	9	20	69	189	13	1275
Mittel	482	2.8	17	29	104	306	27	2019

Wie aus den vorstehenden Tabellen 8 und 9 hervorgeht, enthält das Brot durchschnittlich 152 g Trockensubstanz aus Roggenmehl (= 24 Proz. der gesammten Trockensubstanz im Brot) und 482 g Trockensubstanz aus Rindenmehl. Vom Energiewert des genossenen Brotes entstammten 632 Kalorien (= 24 Proz.) dem Roggenmehl und 2,019 Kalorien (= 76 Proz.) dem Rindenmehl.

Die grösste Menge vom genossenen Rindenmehl beträgt 666 g (Trockensubstanz), die kleinste 298 g, was im Durchschnitt pro Tag 222, bzw. 96 g entspricht.

Die Tabelle 10 gibt die Zusammensetzung der gesammten Kost und die Tabelle 11 die der Grundkost und des im Brote enthaltenen Roggenmehls an.

Tab. 10. *Die Zusammensetzung der gesammten Kost.*

Versuchs-person	Trocken-substanz; g	N; g	Ei-weiss; g	Fett; g	Roh-faser; g	Übrige Kohle-hydrate; g	Asche; g	Kalo-rien
1	1300	35.9	226	339	90	581	62	6833
2	1878	40.6	256	416	147	967	92	9486
3	1577	38.3	241	404	107	745	79	8242
4	1824	40.1	252	414	138	930	89	9263
5	1527	36.8	232	407	111	709	67	8100
6	1515	38.2	240	346	106	743	78	7689
7	1580	37.5	236	378	127	768	70	8151
8	1813	40.5	255	415	144	906	91	9216
9	1350	35.8	226	329	88	645	62	6992
10	1282	35.4	223	336	78	584	60	6757
Mittel	1565	37.9	239	378	114	758	75	8073

Tab. 11. *Die Zusammensetzung der Grundkost und des im Brote enthaltenen Roggenmehls.*

Versuchs-person	Trocken-substanz; g	N; g	Ei-weiss; g	Fett; g	Roh-faser; g	Übrige Kohle-hydrate; g	Asche; g	Kalo-rien
1	949	34.3	216	315	9	359	47	5330
2	1213	36.1	227	380	12	543	50	6738
3	1103	35.0	220	378	10	443	49	6283
4	1200	35.8	226	379	11	532	50	6685
5	1091	34.8	219	378	10	433	49	6233
6	1042	35 0	220	320	10	441	48	5736
7	1075	35.2	221	344	10	450	48	5995
8	1159	36.0	227	380	11	490	50	6518
9	1011	34.3	216	306	9	431	47	5541
10	984	34.0	214	317	9	395	47	5482
Mittel	1083	35.1	221	350	10	452	48	6054

VI.

Der der Versuchskost entsprechende *Kot* war sehr voluminös, von ziemlich weicher, poröser Konsistenz und in ihm konnten spärliche Reste von gequollener, nicht zersetzter Baumrinde beobachtet werden.

Die Zusammensetzung des Kotes ist in Tab. 12 dargestellt.

Tab. 12. *Die Zusammensetzung des Kotes.*

Versuchsperson	Trockensubstanz; g	N; g	Eiweiss; g	Fett; g	Rohfaser; g	Übrige Kohlehydrate; g	Asche; g	Kalorien
1	312	13.1	82	37	52	106	34	1331
2	514	23.2	145	64	85	160	60	2195
3	351	16.2	101	46	66	96	42	1508
4	464	18.6	116	35	106	155	51	1876
5	291	14.2	89	34	35	97	36	1222
6	394	16.9	106	35	73	130	51	1587
7	290	13.2	82	30	44	98	35	1203
8	480	19.1	119	41	92	170	58	1944
9	314	13.5	85	36	51	107	35	1333
10	271	11.9	75	31	43	88	35	1131
Mittel	368	16.0	100	39	65	121	44	1533

Die Menge der Trockensubstanz im Kot beträgt also durchschnittlich 368 g. Sie steht übrigens in ziemlich nahem Verhältnis zu der genossenen Brotmenge. So hat die Versuchsperson Nr 2, die die grösste Brotmenge verzehrte, auch die grösste Kotmenge (514 g) produziert, und die Versuchsperson Nr 10, die die kleinste Brotmenge genoss, hat die kleinste Kotmenge (271 g) geliefert.

Übrigens ist der Kot sehr reich an Eiweiss, Rohfaser und Asche, im Mittel bzw. 100, 65 und 44 g; Fett und übrige Kohlehydrate kommen in verhältnismässig geringerer Menge, 39 bzw. 121 g, vor.

VII.

Wenn die im Kote abgegebenen Mengen Stickstoff, Fett usw. als reiner Verlust der entsprechenden Bestandteile der Kost aufgefasst werden, berechnet sich der prozentige Verlust der Gesammtkost folgendermassen (Tab. 13).

Tab. 13. *Der prozentige Verlust der Nahrungsstoffe im Darme.*

Versuchs-person	Trocken-substanz; %	N; %	Ei-weiss; %	Fett: %	Roh-faser; %	Übrige Kohle-hydrate; %	Asche; %	Kalo-rien %
1	24.0	36.3	36.3	8.0	57.8	18.2	54.8	19.5
2	27.4	56.6	56.6	15.4	57.8	16.6	65.2	23.1
3	22.3	41.9	41.9	11.4	61.7	12.9	53.2	18.3
4	25.4	46.0	46.0	8.4	76.8	16.7	57.3	20.3
5	19.1	38.4	38.4	8.4	31.5	13.7	53.7	15.1
6	26.0	44.2	44.2	10.1	68.9	17.5	65.4	20.6
7	18.4	34 7	34.7	7.9	34.7	12.8	50.0	14.8
8	26.5	46.7	46.7	9.9	63.9	18.8	63.5	20.3
9	23.3	37.6	37.6	10.9	58.0	16.6	56.5	19.0
10	21.1	33.6	33.6	9.2	55.1	15.1	58.3	16.7
Mittel	23.5	41.8	41.8	10.3	57.0	16.0	58.7	19.0

Bei den einzelnen Versuchspersonen variiert die Grösse des prozentigen Verlustes ziemlich erheblich. So wechselt der Verlust an Trockensubstanz zwischen 18.4 (Nr 7 und 27.4 (Nr. 2), an Eiweiss zwischen 33.6 (Nr 10) und 56.6 (Nr 2), an Fett zwischen 7.9 (Nr 7) und 15.4 (Nr 2), an Rohfaser zwischen 31.5 (Nr 5) und 76.8 (Nr 4), an übrigen Kohlehydraten zwischen 12.8 (Nr 7) und 18.8 (Nr 8), an Asche zwischen 50.0 (Nr 7) und 65.4 (Nr 6) sowie an Kalorien zwischen 14.8 (Nr 7) und 23.1 (Nr 2) Proz.

Die Ursache dieser Schwankungen liegt, insbesondere betreffend die Trockensubstanz und die Kalorien, grösstenteils in den verschiedenen Mengen des von den Versuchspersonen genossenen Brotes, und zwar steigt der prozentige Verlust in der Regel mit der Menge desselben an.

Von der aufgenommenen Trockensubstanz und Energie sind durchschnittlich 23.5 bzw. 19.0 Proz. im Kote vorhanden. Dieser grosse Verlust ist zum grössten Teil von der schlechten Resorption der Asche, der Rohfaser und des Eiweisses bedingt, indem dieser bzw. 58.7, 57.0 und 41.8 Proz. der entsprechenden Einnahmen beträgt.

Dagegen ist die Ausnützung des Fettes (Aetherextraktes) verhältnismässig gut gewesen (Verlust 10.3 Proz.) und dasselbe gilt gewissermassen auch von den Kohlehydraten ausser Rohfaser (Verlust 16.0 Proz.).

Ein Vergleich zwischen dem prozentigen Verlust in dieser Versuchsreihe und in der Normalreihe findet sich in Tab. 14.

Tab. 14. *Der prozentige Verlust an Nahrungsstoffen in dieser Reihe im Vergleich mit dem in der Normalreihe* [1]).

Versuchs-person	Trocken-substanz; %	N; %	Ei-weiss; %	Fett; %	Roh-faser; %	Übrige Kohle-hydrate; %	Asche; %	Kalo-rien %
1	+ 14.6	+ 26.9	+ 26.9	+ 1.5	− 11.4	+ 10.3	+ 33.3	+ 11.7
2	+ 18.2	+ 40.5	+ 40.5	+ 6.9	− 14.4	+ 12.1	+ 42.6	+ 15.0
4	+ 16.2	+ 30.7	+ 30.7	+ 2.4	+ 4.6	+ 11.8	+ 24.7	+ 12.9
5	+ 9.2	+ 23.7	+ 23.7	+ 2.1	− 50.8	+ 7.6	+ 25.8	+ 7.0
6	+ 20.1	+ 37.9	+ 37.9	+ 6.5	+ 15.6	+ 13.1	+ 46.4	+ 16.0
8	+ 18.0	+ 37.6	+ 37.6	+ 5.0	− 29.4	+ 12.7	+ 37.6	+ 13.8
9	+ 13.3	+ 24.1	+ 24.1	+ 3.2	− 18.9	+ 10.6	+ 29.3	+ 10.5
Mittel	+ 15.7	+ 31.6	+ 31.6	+ 3.9	− 15.0	+ 10.2	+ 34.2	+ 12.4

Im Versuch mit dem Rindenbrot ist also der Verlust im Darme bei sämmtlichen Nahrungsstoffen grösser als in der Normalreihe. Eine Ausnahme bildet die Rohfaser, indem diese in fünf Fällen von sieben im Rindenmehlversuch besser als in der Normalreihe ausgenützt worden ist. Diese Ausnahme ist indessen nur scheinbar, denn die Mengen Rohfaser, welche in der Normalreihe aufgenommen wurden (im

[1]) Ein + gebt an, dass der Verlust hier grösser gewesen ist als in der Normalreihe.

Mittel nur 16 g für drei Tage), waren so klein, dass die prozentige Berechnung des Verlustes im Darme gar keine Ansprüche auf Exaktheit erheben kann. Der direkte Vergleich mit der Rindenmehlreihe ist also in dieser Hinsicht ganz irreführend.

Sonst zeigt der Verlust an Eiweiss und Asche eine sehr bedeutende Zunahme (um 31.6 bzw. 34.2 Proz.); an Kohlehydraten (ausser Rohfaser) ist der Verlust um 10.2 Proz. grösser als im Normalversuch. Bemerkenswert ist die geringe Steigerung des prozentigen Fettverlustes (3.9 Proz.) der Normalreihe gegenüber.

VIII.

Unter der Annahme, dass die in der Grundkost und dem Roggenmehl enthaltenen Nahrungsstoffe in den Versuchen mit Brot aus Rindenmehl in gleichem Umfange wie in der Normalreihe ausgenützt worden sind, würden aus ihnen folgende Mengen im Kot herrühren (Tab. 15).

Tab. 15. *Berechneter Verlust bei der Grundkost und dem Roggenmehl.*

Versuchsperson	Trockensubstanz; g	N; g	Eiweiss; g	Fett; g	Rohfaser; g	Übrige Kohlehydrate; g	Asche; g	Kalorien
1	86	3.2	20	20	6	28	10	416
2	111	5.8	37	29	9	24	11	546
3	104	4.9	31	26	7	26	13	509
4	109	5.5	35	23	8	26	16	495
5	106	5.1	32	24	8	26	14	505
6	60	2.2	14	12	5	19	9	264
7	101	4.9	31	24	7	26	12	486
8	94	3.3	21	19	10	30	13	424
9	100	4.7	29	24	7	26	13	471
10	94	4.8	30	22	6	23	12	444
Mittel	97	4.4	28	22	7	25	12	456

Wenn diese Zahlen von den im Gesammtkot enthaltenen Mengen der verschiedenen Nahrungsstoffe subtrahiert werden, so bleiben die in Tab. 16 aufgenommen Mengen zurück. Diese geben den Verlust beim Rindenmehl nebst dem von diesem etwa verursachten Verlust der in der übrigen Kost vorfindlichen, sonst resorbierten Nahrungsstoffe an.

Tab. 16. *Der Verlust der im Rindenmehl enthaltenen Nahrungsstoffe.*

Versuchsperson	Trockensubstanz; g	N; g	Eiweiss; g	Fett; g	Rohfaser; g	Übrige Kohlehydrate; g	Asche; g	Kalorien
1	226	9.9	62	17	46	78	24	915
2	403	17.4	108	35	76	136	49	1649
3	247	11.3	70	20	59	70	29	999
4	355	13.1	81	12	98	129	35	1381
5	185	9.1	57	10	27	71	22	717
6	334	14.7	92	23	68	111	42	1323
7	189	8.3	51	6	37	72	23	717
8	386	15.8	98	22	82	140	45	1520
9	214	8.8	56	12	44	81	22	862
10	177	7.1	45	9	37	65	23	687
Mittel	271	11.6	72	17	58	96	32	1077

In Prozenten des verzehrten Rindenmehls beträgt dieser Verlust (Tab. 17, S. 22):

Der Verlust an Trockensubstanz wechselt hier zwischen 37.5 (Nr 7) und 70.6 (Nr 6) Proz. und ist durchschnittlich 56.2 Proz. Übrigens ist dieser Verlust nur in einem einzigen Falle kleiner als 40 Proz., in einem Falle ist er 42.4 Proz. (Nr 5); in vier Fällen variiert er zwischen 50 und 60 Proz. (52.1 in Nr 3, 56.8 in Nr 4, 59.0 in Nr 8 und 59.4 in Nr 10). Bei den übrigen vier Fällen ist der Verlust grösser als 60 Proz. und zwar 60.5 Proz. in Nr 2, 62.9 Proz. in Nr 9, 64.4 Proz. in Nr 1 und 70.6 Proz. in Nr. 6.

Vom Aetherextrakt des Rindenmehls finden sich im

Kot durchschnittlich 59 Proz.; Minimum 18 Proz. (Nr 7), Maximum 97 Proz. (Nr 2). Die Ursache der überaus grossen Schwankungen ist auf die geringe Menge von Aetherextrakt im diesem Mehl (durchschnittlich 29 g) im Vergleich mit der sonst in der verabreichten Kost vorfindlichen Fettmenge (350 g) zu beziehen.

Tab. 17. *Der prozentige Verlust der im Rindenmehl enthaltenen Nahrungsstoffe.*

Versuchs-person	Trocken-substanz; %	N; %	Ei-weiss; %	Fett; %	Roh-faser; %	Übrige Kohle-hydrate; %	Asche; %	Kalo-rien %
1	64.4	620	620	71	57	35	160	61.0
2	60.5	386	386	97	56	32	117	60.0
3	52.1	333	333	77	61	23	97	51.0
4	56.8	311	311	35	77	32	90	53 6
5	42.4	438	438	34	27	26	122	38.4
6	70.6	460	460	88	71	37	140	67.7
7	37.5	340	340	18	32	23	105	33.3
8	59.0	363	363	63	62	34	110	56.3
9	62.9	622	622	52	45	38	147	59.3
10	59.4	500	500	45	54	34	177	53.9
Mittel	56.2	424	424	59	56	31	119	53.4

Auch der Verlust an Rohfaser zeigt sehr bedeutende Variationen, von einem Maximum von 77 Proz. (Nr 4), zu einem Minimum von 27 Proz. (Nr 5); das Mittel beträgt 56 Proz. Von den übrigen Kohlehydraten sind 23 (Nr 3 und 7) bis 38 (Nr 9), durchschnittlich 31 Proz. im Darme nicht resorbiert worden.

Von der Stickstoffsubstanz des Rindenmehls ist gar nichts im Darme ausgenützt worden, vielmehr hat dieses Mehl es bewirkt, dass von dem in den übrigen Nahrungsmitteln enthaltenen Eiweiss wesentlich weniger resorbiert wurde, als man auf Grund der Normalreihe annehmen konnte.

Während nämlich dieser Verlust, wie aus der Tab. 15 hervorgeht, an der Hand der Normalreihe zu bzw. 20, 37, 31, 35, 32, 14, 31, 21, 29 und 30 oder im Durchschnitt zu 28 g berechnet worden ist, beläuft sich der tatsächliche Verlust, wenn wir voraussetzen, dass die Gesammtmenge des Rindenmehleiweisses unresorbiert den Darm verlassen hat, auf bzw. 72, 117, 80, 90, 76, 86, 67, 92, 76, 66, durchschnittlich 83 g.

Mit anderen Worten, der Verlust an dem in der Grundkost und im Roggenmehl enthaltenen Eiweiss ist hier durchschnittlich drei Mal grösser als im Normalversuch. Und dennoch kann man aus guten Gründen voraussetzen, dass von dem in der Grundkost und im Roggenmehl aufgenommenen Eiweiss verhältnismässig mehr resorbiert werden sollte als in der Normalreihe, bei welcher die Kost wesentlich reicher am schwer resorbierbaren Roggenmehl war.

Unter der Einwirkung des Rindenmehls wäre also der Verlust an Eiweiss aus der Grundkost und dem Roggenmehl von 13 auf 38 Proz. angestiegen [1]).

Von der gesammten Energie des Rindenmehls sind 33.3 bis 67.7 Proz. verloren gegangen. Nur in zwei Fällen ist der Verlust kleiner als 50 Proz. (33.3 bei Nr 7 und 38.4 bei Nr 5); in fünf Fällen liegt der Verlust zwischen 50 und 60 Proz. (51.0 in Nr 3, 53.6 in Nr 4, 53.9 in Nr 10, 56.3 in Nr 8 und 59.3 in Nr 9), und in drei Fällen ist er 60 Proz. oder höher (60.0 in Nr 2, 61.0 in Nr 1, 67.7 in Nr 6).

Von der Trockensubstanz und der Energie des genossenen Rindenmehls sind also durchschnittlich 56.2 bzw. 53.4 in Darme nicht resorbiert worden. Unter Vernachlässigung des Verlustes, der durch die im Darme stattfindende Gasbildung unzweifelhaft aufgetreten ist, würde daher die Trockensubstanz des Rindenmehls zu 43.8 und die potentielle Energie desselben zu 46.3 Proz. im Darme ausgenutzt worden sein.

[1]) Diese Berechnung ist natürlich nicht streng exakt, denn ein Teil der im Kot vorhandenen N-Substanz entstammt ja nicht der Kost, sondern dem Körper selber. Unter allen Umständen bedeutet dies aber einen durch das Rindenmehl verursachten, sonst nicht aufgetretenen Verlust. Wie derselbe auf die genossene Kost an sich und auf den Darm verteilt werden soll, kann natürlich nicht entschieden werden.

Da aber eine Überschätzung des Nährwertes bei einem Ersatznahrungsmittel wesentlich bedenklicher ist als eine zu geringe Schätzung desselben, und da ausserdem die Gasbildung, deren Umfang indessen nicht festgestellt werden konnte, in Betracht gezogen werden muss, möchte ich die Ausnützung der Trockensubstanz und der potentiellen Energie beim Rindenmehl auf rund 40 Prozent veranschlagen.

Wenn wir annehmen, dass grobes Roggenmehl im Darme zu 90 Proz. ausgenützt wird, würde daher *100 g Rindenmehl den gleichen Nährwert wie 45 g grobes Roggenmehl von demselben Wassergehalt besitzen.*

In dieser Hinsicht hat sich also das Rindenmehl als ein vortreffliches Ersatznahrungsmittel bewährt, denn auch wenn eine Ausnützung der Energie von nur 40 Proz. bei der gewöhnlichen Kost kaum denkbar ist, so müssen wir wohl andererseits zugeben, dass in Bezug auf Ersatznahrungsmittel eine Ausnützung dieser Grösse als sehr günstig bezeichnet werden muss. Die Ausnützung der meisten anderen vorgeschlagenen und in grösserem oder kleinerem Umfang angewandten Ersatznahrungsmittel stellt sich wesentlich schlechter dar.

Der Wert des Rindenmehls als Ersatznahrungsmittel wird indessen durch seine Einwirkung auf die Ausnützung des in der übrigen Kost enthaltenen Eiweisses in einem gewissen Grade vermindert. Auf Grund der hier besprochenen, kurzdauernden Versuche ist es ja nicht möglich zu entscheiden, ob diese Einwirkung vielleicht nur flüchtiger Natur wäre, und es lässt sich ja denken, dass sie an Intensität abnehmen würde, so bald sich der Mensch ans Rindenmehl gewöhnt hat. Da dies aber sehr wenig wahrscheinlich ist, wird der grössere Eiweissverlust im Darme, speziell wenn die Kost an und für sich an Eiweiss arm ist, sehr verhängnisvoll sein können.

Enthält die Kost dagegen Eiweiss in Mengen, welche den Bedarf nicht unwesentlich übertreffen, — und dies scheint während der Kriegsjahre wenigstens in den Städten der Fall gewesen zu sein, — so ist natürlich die Einwirkung des

Rindenmehls auf die Aufsaugung des Eiweisses von geringerer Bedeutung.

IX.

Während des Versuches wurde der Harn der Versuchspersonen gesammelt. Leider gingen vier Harnportionen verloren und die *N*-Bilanz hat sich daher nur bei sechs Versuchspersonen feststellen (s. Tab. 18) lassen.

Tab. 18. *Die N-Bilanz.*

Versuchs-person	Stickstoff; g				
	Aufnahme	Abgabe im Harn	Abgabe im Kot	Gesamt-Abgabe	Bilanz
2	40.6	23.9	23.2	47.1	— 6.5
3	38.3	20.0	16.2	36.2	+ 2.1
4	40.1	21.7	18.6	40.3	— 0.2
5	36.8	27.5	14.2	41.7	— 4.9
7	37.5	32.2	13.2	45.4	— 7.9
8	40.5	27.2	19.1	46.3	— 5.8

Bei fünf Versuchspersonen war die *N*-Bilanz also negativ, was offenbar mit der geringen *N*-Zufuhr im Zusammenhang steht. Nur in einem Fall (Nr 3) kommt eine, übrigens nicht ganz geringe Retention von Stickstoff vor.

X.

So weit sich unsere Kenntnisse zurzeit erstrecken, ist das Rindenmehl das beste der Ersatznahrungsmittel, welche in grösseren Mengen in unserem Lande erhalten werden können, und es scheint mir, dass dasselbe bei schweren Zeiten als sehr empfehlenswert zu bezeichnen ist.

Dies bedeutet aber keineswegs, dass das Rindenmehl unter normalen Umständen als ein Nahrungsmittel angesprochen werden könnte, denn es wird ja in einem allzu

geringen Grade im Darme ausgenützt. Selbst wenn wir keine unmittelbaren schädlichen Wirkungen des langedauernden Genusses eines mit Rindenmehl hergestellten Brotes nachweisen könnten und auch von dessen Einwirkung auf die Ausnützung des Eiweisses absehen, so ist es dennoch unzweifelhaft, dass dies Brot gar zu viel den menschlichen Darm anstrengt und also geeignet ist, Störungen bei den normalen Verrichtungen desselben hervorzurufen.

Es kann daher nicht als zweckmässig erachtet werden, wenn in einem Lande mit geordneten hygienischen Verhältnissen selbst nur ein geringer Teil der Bevölkerung immer wieder gezwungen ist, sein tägliches Brot in grösserem oder kleinerem Umfange mit Rindenmehl zu bereiten.



Öfversigt af Finska Vetenskaps-Societetens Förhandlingar.
Bd. LXI. 1918—1919. Afd. A. N:o 17.

Der Nährwert des Heumehls beim Menschen.

Von

CARL TIGERSTEDT.

(Aus dem physiologischen Institut der Universität Helsingfors)

I.

Während der letzten Notjahre ist unter zahlreichen Ersatznahrungsmitteln Mehl aus Heu vorgeschlagen und auch in einigem Umfange verwendet worden.

Laut einer mündlichen Mitteilung von Herrn Professor J. E. Johansson in Stockholm können die im Heumehl enthaltenen Nahrungsstoffe zu einem nicht ganz unerheblichen Teil im Darme des Menschen resorbiert werden, wenigstens wenn das Heu sehr fein gemahlen ist und in ziemlich geringer Menge genossen wird.

Angesichts der verzweifelten Ernährungsverhältnisse, welche im Sommer 1918 in unserem Lande walteten, fand ich es daher angezeigt, im Zusammenhang mit entsprechenden, von der Lebensmittelexpedition finanzierten Versuchen über die Hydrozellulose eine Versuchsreihe über solches Heumehl, das in unserem Lande dargestellt werden konnte, anzuordnen. Dabei sollten die Versuchspersonen möglichst grosse Mengen des betreffenden Mehls geniessen.

Diese Versuchsreihe wurde nach demselben Programm wie die früher veröffentlichten Reihen über den Nährwert

der Hydrozellulose[1]) und der Fichtenbaumrinde[2]) ausgeführt. Die Versuche dauerten also drei Tage lang; während derselben verzehrten die Versuchspersonen eine in quantitativer Hinsicht ziemlich gleiche Grundkost sowie ein aus Roggenmehl und Heumehl (aus Phleum prat.) gebackenes Brot, von welchem sie konsumierten so viel wie sie nur vermochten.

In Bezug auf die Methodik, die Normalversuche usw. verweise ich auf die schon erwähnten Untersuchungen.

Bei der Reihe mit Heumehl nahmen vier Versuchspersonen teil. Unter ihnen war nur Nr 1 an der Normalreihe beteiligt (Nr 17). Während der Versuchsdauer waren die Versuchspersonen gesund. Kein Eiweiss oder Zucker im Harn.

Die *Grundkost* war dieselbe wie in den Versuchsreihen D und E mit Mehl aus Hydrozellulose und bestand aus Eiern, Butter, Milch, Käse, Wurst, Zucker, Heidelbeeren und Bouillonwürfeln (s. Tab. 1, welche auch die Menge des genossenen Heubrotes angibt).

Tab. 1. *Die genossenen Nahrungsmittel.*

N:o	Versuchsperson			Eeier ohne Schaalen; g	Butter; g	Milch; g	Käse; g	Wurst; g	Zucker; g	Heidelbeeren; g	Bouillonwürfel; Stück	Heubrot; g
		Alter; Jahre	Körpergewicht; kg									
1	C. T.	36	62	450	149	2850	68	210	60	40	4	763
2				441	235	2850	240	123	130	40	3	879
3				452	270	2850	240	205	123	40	3	533
4				471	221	2850	203	131	76	40	3	844
Mittel				454	219	2850	188	167	97	40	3	755

Tab. 2 gibt die prozentige Zusammensetzung der bei dieser Reihe benutzten Nahrungsmittel an.

[1]) R. Tigerstedt und C. Tigerstedt. Öfversigt af Finska Vetenskaps-Societetens Förhandlingar, LXI, Afd. A, N:o 3; 1919.

[2]) C. Tigerstedt, ebenda, LXI, Afd. A, N:o 16; 1919.

Tab. 2. *Die Zusammensetzung der benutzen Nahrungsmittel.*

	Trocken-substanz; %	Stickstoff; %	Eiweiss; %	Fett; %	Rohfaser; %	Übrige Kohle-hydrate %	Asche; %	Kalorien pro 100 g
Eier	29.4	2.31	14.4	16.2	—	1.3	1.1	181
Butter	85.9	0.06	0·4	83.3	—	0.2	1.9	777
Milch	12.3	0.47	2.9	3.6	—	5.0	0.8	66
Käse.	62.7	5.47	34,2	19.5	—	3.2	5.9	334
Wurst [1])	94.7	5.71	37.8	33.2	—	—	23.8	465
Zucker	99.9	—	—	—	—	99.8	0.1	409
Heidelbeeren . .	85.2	—	—	—	13.5	69.4	2.3	340
Bouillonwürfeln [2]) .	4.1	0.19	1.3	0.3	—	—	2.6	8
Heubrot	89.9	1.44	9.0	3.7	7.1	63.8	6.2	363
Heumehl	89.3	1.69	10.5	5.1	11.9	52.1	9.6	353
Roggenmehl . . .	88.5	1.09	6.8	2.9	1.2	75.7	1.9	370

Die chemische Zusammensetzung der Grundkost ist aus Tab. 3 ersichtlich.

Tab. 3. *Die Zusammensetzung der Grundkost.*

Versuchs-person	Trocken-substanz; g	Stickstoff; g	Eiweiss; g	Fett; g	Rohfaser; g	Übrige Kohle-hydrate; g	Asche; g	Kalorien
1	870	34.9	218	336	5	240	70	5022
2	1073	41.5	256	424	5	314	71	6310
3	1141	44.2	276	469	5	308	82	6782
4	995	40.2	251	409	5	261	69	5923
Mittel	1019	40.2	250	409	5	281	73	6009

Das Heumehl wurde durch möglichst feines Zermahlen von ein Jahr altem, gutem Heu in einer gewöhnlichen

[1]) Auf Wasserbad getrocknet.
[2]) Pro 1 Stück.

Getreidemühle gewonnen. Indessen bestand das Mehl zu grossem Teil aus Strohstückchen von bis zu 2 cm Länge, weshalb es zuerst durch ein Haarsieb gesichtet wurde. Das so erhaltene Produkt, das immer noch ziemlich grob war, wurde beim Backen des Versuchsbrotes benutzt. Dieses fand wie bei den früheren Versuchen über Ersatznahrungsmittel in der Bäckerei der kooperativen Gesellschaft Elanto statt.

Das *Brot* wurde in dünnen, getrockneten Kuchen verabreicht. Sein Geschmack war zwar nicht unangenehm, es enthielt aber grosse Mengen von harten und scharfen Strohteilchen, welche die Mundhöhlen- und Schlundschleimhaut ziemlich stark angriffen und dadurch das Vermögen der Versuchspersonen, das Brot zu geniessen, in hohem Grade beschränkten. Die grösste Menge, die im Laufe der drei Versuchstage genossen wurde, betrug 879 g, die kleinste 533 g; durchschnittlich wurden 755 g davon verzehrt.

Die Zusammensetzung des genossenen Brotes geht aus der Tab. 4 hervor.

Tab. 4. *Die Zusammensetzung des Brotes.*

Versuchs-person	Trocken-substanz; g	Stickstoff; g	Eiweiss; g	Fett; g	Rohfaser; g	Übrige Kohle-hydrate; g	Asche; g	Kalorien
1	681	11.0	69	29	54	487	48	2770
2	790	12.7	79	33	63	561	55	3200
3	479	7.7	48	20	38	340	33	1935
4	759	12.2	76	32	60	539	53	3064
Mittel	677	10.9	68	28	54	482	47	2742

Die gesammten Einnahmen der Versuchspersonen sind in Tab. 5 zusammengestellt.

Tab. 5. *Die Zusammensetzung der gesammten Einnahmen.*

Versuchs-person	Trocken-substanz; g	Stickstoff; g	Eiweiss; g	Fett; g	Rohfaser; g	Übrige Kohle-hydrate g	Asche; g	Kalorien
1	1556	45.9	287	364	60	727	118	7792
2	1863	54.2	339	456	68	875	126	9510
3	1621	51.9	324	489	43	648	116	8717
4	1754	52.4	327	441	65	788	122	8987
Mittel	1699	51.1	319	438	59	762	120	8752

Von der durchschnittlichen Zufuhr von Trockensubstanz (1,699 g), Eiweiss (319 g), Fett (438 g), Rohfaser (59 g), übrigen Kohlehydraten (762 g), Asche (120 g) und Kalorien (8,752 Kal.), entfallen also bzw. 677, 68, 28, 54, 482 und 47 g sowie 2,742 Kal., d. h. 40, 21, 6, 92, 63, 39 und 31 Proz. auf das Brot.

Die Trockensubstanz des Brotes bestand zu 45.5 Proz. aus Heumehl, 52.7 Proz. aus Roggenmehl und 1.8 Proz. aus Kochsalz.

Nach der Berechnung hätten 100 g Trockensubstanz 9.4 g Eiweiss, 4.3 g Fett, 6.8 g Rohfaser, 71.6 g übrige Kohlehydrate, 7.8 g Asche mit 400 Kal. enthalten sollen. Die direkte Analyse des Heubrotes ergab auf 100 g Trockensubstanz 10.0 g Eiweiss, 4.1 g Fett, 7.9 g Rohfaser, 71.0 g übrige Kohlehydrate, 6.9 g Asche und 404 Kalorien.

In der Form von Roggenmehl und Kochsalz enthielt das Heubrot folgende Mengen der einzelnen Nahrungsstoffe (Tab. 6).

Die Zusammensetzung der Grundkost nebst dem Roggenmehl ist in der Tab. 7 angegeben.

In der Tab. 8 ist die quantitative Zusammensetzung des im Brote genossenen Heumehls berechnet.

Tab. 6. *Die Zusammensetzung des im Brot enthaltenen Roggenmehls und des Kochsalzes.*

Versuchsperson	Trockensubstanz; g	Stickstoff; g	Eiweiss; g	Fett; g	Rohfaser; g	Übrige Kohlehydrate; g	Asche; g	Kalorien
1	372	4.4	28	12	5	307	21	1502
2	431	5.1	32	14	6	356	24	1739
3	261	3.1	19	8	3	216	14	1055
4	415	4.9	31	13	5	342	23	1672
Mittel	369	4.4	28	12	5	305	20	1492

Tab. 7. *Die Zusammensetzung der Grundkost und des Roggenmehls.*

Versuchsperson	Trockensubstanz; g	Stickstoff; g	Eiweiss; g	Fett; g	Rohfaser; g	Übrige Kohlehydrate; g	Asche; g	Kalorien
1	1229	39.3	246	348	10	547	91	6524
2	1489	46.6	288	438	11	670	95	8049
3	1393	47.3	295	477	8	524	96	7837
4	1395	45.1	282	422	10	603	92	7595
Mittel	1376	44.6	278	421	10	586	93	7501

Tab. 8. *Die Zusammensetzung des Heumehls.*

Versuchsperson	Trockensubstanz; g	Stickstoff; g	Eiweiss; g	Fett; g	Rohfaser; g	Übrige Kohlehydrate; g	Asche; g	Kalorien
1	309	6.6	41	17	49	180	27	1268
2	359	7.6	47	19	57	205	31	1461
3	218	4.6	29	12	35	124	19	880
4	344	7.3	45	19	55	197	30	1392
Mittel	308	6.5	40	16	49	177	27	1250

Von den in der Kost enthaltenen Mengen von Trockensubstanz, Eiweiss, Fett, Rohfaser, übrigen Kohlehydraten, Asche und Kalorien entstammten also bzw. 18.1, 12.5, 3.7, 83.1, 23.2, 22.5 und 14.3 Proz. dem Heumehl.

II.

Der der genossenen Kost entsprechende *Kot* enthielt folgende Mengen der verschiedenen Nahrungsstoffe (Tab. 9).

Tab. 9. *Die Zusammensetzung des Kotes.*

Versuchs-person	Trocken-substanz; g	Stickstoff; g	Eiweiss; g	Fett; g	Rohfaser; g	Übrige Kohle-hydrate; g	Asche; g	Kalorien
1	345	9.9	62	47	70	110	56	1429
2	401	9.8	61	61	80	134	65	1696
2	267	7.5	47	46	49	84	42	1164
4	316	9.1	57	25	72	113	49	1223
Mittel	332	9.1	57	45	68	110	53	1378

Wenn wir annehmen, dass der Kot lediglich aus nichtresorbierten Resten der genossenen Kost besteht, betragen die Ausgaben in Proz. der Einnahmen (s. Tab. 10):

Tab. 10. *Die Ausgaben in Proz. der Einnahmen.*

Versuchs-person	Trocken-substanz; %	Stickstoff; %	Eiweiss; %	Fett; %	Rohfaser; %	Übrige Kohle-hydrate; %	Asche; %	Kalorien
1	22.2	21.6	21.6	12.9	116.7	15.1	47.5	18.3
2	21.5	18.0	18.0	13.4	117.6	15.3	51.6	17.8
3	16.5	14.5	14.5	9.4	114.0	13.0	36.2	13.4
4	18.0	17.4	17.4	5.7	110.8	14.3	40.2	13.6
Mittel	19.5	17.9	17.9	10.3	114.9	14.4	43.4	15.7

Im Allgemeinen stimmen die bei den einzelnen Versuchspersonen erhaltenen Zahlen für den prozentigen Verlust ziemlich gut überein, nur bieten Nr 1 und Nr 2 durchgehend einen etwas grösseren Verlust als Nr 3 und Nr 4 dar. Dass der Verlust bei Nr 3 verhältnismässig niedrig ist, erklärt sich daraus, dass die betreffende Versuchsperson, im Vergleich mit den übrigen Versuchspersonen, ziemlich wenig Heubrot (533 g, 763, 879 und 844 g gegenüber) verzehrte. Um so mehr bemerkenswert ist dann der geringe Verlust bei der Versuchsperson Nr 4, indem sie eine Brotmenge genoss, die nur um 35 g kleiner war als die grösste in dieser Versuchsreihe verzehrte.

Besonders niedrig stellt sich der Fettverlust bei Nr 4 dar, indem derselbe nur 5.7 Proz. des genossenen Fettes beträgt. Bei den übrigen Versuchspersonen ist der Fettverlust bzw. 12.9, 13.4 und 9.4 Proz.

Im Durchschnitt beläuft sich der prozentige Verlust an Trockensubstanz und Kalorien auf 19.5 bzw. 15.7 Proz. An Eiweiss, Fett, Trockensubstanz, Rohfaser, übrigen Kohlehydraten und Asche beträgt der Verlust durchschnittlich bzw. 17.9, 10.3, 114.9, 14.4 und 43.4 Proz. — Von Rohfaser ist also nichts resorbiert worden. Dass der Verlust scheinbar mehr als 100 Proz. beträgt, ist von der nicht vermeidbaren Unsicherkeit bei der Rohfaserbestimmung verursacht.

III.

Hinsichtlich der Berechnung der Ausnützung des Heumehls im Darme setze ich voraus, dass der prozentige Verlust bei den in der Grundkost sowie im Roggenmehl und Kochsalz des Brotes enthaltenen Nahrungsstoffen bei der Versuchsperson Nr 1, die auch an der Normalreihe teilnahm, gleichgross war wie in derselben. Betreffend die drei übrigen Versuchspersonen berechne ich den entsprechenden Verlust nach den aus der Normalreihe hervorgegangenen Mittelzahlen.

Bei der Versuchsperson Nr 1 ist also der Verlust an Eiweiss 6.3 Proz., an Fett 3.6 Proz., an Rohfaser 53.3 Proz.,

an übrigen Kohlehydraten 4.4 Proz. und an Asche 19.0 Proz. Bei den Versuchspersonen Nr 2—4 werden folgende Konstanten benutzt: Eiweiss 13.2 Proz., Fett 6.7 Proz., Rohfaser 68.8 Proz., übrige Kohlehydrate 5.7 Proz., Asche 25.4 Proz.

Nach dieser Berechnung würden im Kot aus der Grundkost, dem Roggenmehl und dem Kochsalz des Brotes die in der Tab. 12 angegebenen Mengen der einzelnen Nahrungsstoffe entstammen.

Tab. 12. *Der Verlust der in der Grundkost, dem Roggenmehl und dem NaCl des Brotes enthaltenen Nahrungsstoffe.*

Versuchsperson	Trockensubstanz; g	Stickstoff; g	Eiweiss; g	Fett; g	Rohfaser; g	Übrige Kohlehydrate; g	Asche; g	Kalorien
1	73	2.5	15	13	7	24	17	300
2	138	6.2	38	29	8	38	24	628
3	130	6.2	39	32	6	30	24	611
4	130	6.0	37	28	7	34	23	592
Mittel	118	5.2	32	26	7	32	22	533

Durch Subtraktion der in Tab. 12 verzeichneten Zahlen von den in der Tab. 9 enthaltenen bekommen wir die Mengen der dem Heumehl entstammenden, im Kot ausgeschiedenen Nahrungsstoffe (Tab. 13).

Tab. 13. *Der Verlust der im Heumehl enthaltenen Nahrungsstoffe.*

Versuchsperson	Trockensubstanz; g	Stickstoff; g	Eiweiss; g	Fett; g	Rohfaser; g	Übrige Kohlehydrate; g	Asche; g	Kalorien
1	272	7.4	47	34	63	86	39	1129
2	263	3.6	23	32	72	96	41	1068
3	137	1.3	8	14	43	54	18	553
4	186	3.1	20	— 3	65	79	26	631
Mittel	214	3.9	25	19	61	79	31	845

In Prozenten des verzehrten Heumehls macht dies folgendes (Tab. 13):

Tab. 13. *Der prozentige Verlust der im Heumehl enthaltenen Nahrungsstoffe.*

Versuchs-person	Trocken-substanz; %	Stickstoff; %	Eiweiss; %	Fett; %	Rohfaser; %	Übrige Kohle-hydrate; %	Asche; %	Kalorien %
1	88.0	114	114	200	129	48	144	89.0
2	73 3	49	49	168	126	47	132	73.3
3	62.8	29	29	117	123	44	95	62.8
4	54.1	44	44	— 16	118	40	87	45.5
Mittel	69.5	60	60	116	122	45	115	67.6

Der Verlust an Trockensubstanz im Heumehl variiert also zwischen 54.1 (Nr 4) und 88.0 (Nr 1) Proz. und ist im Durchschnitt 69.5 Proz. Nach Kalorien berechnet, ist der Verlust im Maximum 89.0 Proz. (Nr. 1) und in Minimum 45.5 Proz. (Nr. 4) sowie im Durchschnitt 67.6 Proz.

Der Verlust an Eiweiss ist verhältnismässig niedrig und schwankt bei Nr 2, 3 und 4 zwischen 29 und 49 Proz. Bei der Versuchsperson Nr 1 steigt er dagegen auf 114 Proz., d. h. hier ist das Eiweiss der Grundkost und des Roggenmehls etwas schlechter als in der Normalreihe ausgenützt worden.

In hohem Grade variiert der prozentige Verlust an Aetherextrakt des Heumehls. Er beträgt nämlich bei Nr 1 200 Proz., bei Nr 4 dagegen — 16 Proz. Dies steht in naher Beziehung dazu, dass die Menge vom Aetherextrakt im Heumehl (durchschnittlich 16 g) im Vergleich mit der in der übrigen Kost enthaltene, die durchschnittlich 421 g beträgt, so klein ist, dass die prozentige Berechnung des Verlustes beim Heumehl überhaupt keine sicheren Resultate ergeben kann. Auch ist zu berücksichtigen, dass bei den Versuchspersonen Nr 2 bis 4, welche an der Normalreihe nicht teilnahmen, die Aufsaugung der Grundkost usw. nicht direkt

ermittelt worden ist. Wenn wir annehmen, dass die Aufsaugung des Fettes in der Grundkost und dem Roggenmehl bei der Versuchsperson Nr 4 in gleichem Umfang wie bei der Versuchsperson Nr 1 erfolgt sei (Verlust 3.6 Proz), so stellt sich der Verlust gleich + 53 Proz. statt — 16 Proz.

Aus der vorliegenden Versuchsreihe lässt sich aber jedenfalls folgern, dass das Heumehl in keinem grösseren Grade die Absorptionsfähigkeit des Darmes für das in anderen Nahrungsmitteln enthaltene Fett herabsetzt.

Der prozentige Verlust der im Heumehl enthaltenen Rohfaser ist durchgehend grösser als 100, was wiederum zeigt, dass diese überhaupt nicht im menschlichen Darme resorbiert wird.

Der Verlust an den übrigen Kohlenhydraten des Heumehls variiert zwischen 40 und 48 Proz. und beträgt durchschnittlich 45 Proz.

An der Asche ist der Verlust 144—87 Proz. In zwei Versuchen wenigstens ist die in der Grundkost, dem Roggenmehl und dem Kochsalz enthaltene Asche schlechter ausgenützt worden, als ich auf Grund des Normalversuches angenommen habe.

IV.

Die Stickstoffbilanz bei diesem Versuch ist in Tab. 14 zusammengestellt.

Tab. 14. *Die Stickstoff-Bilanz.*

Versuchsperson	Stickstoff; g				
	Aufnahme	Abgabe im Harn	Abgabe im Kot	Gesamt-Abgabe	Bilanz
1	45.9	36.4	9.9	46.3	— 0.3
2	54.2	46.6	9.8	56.4	— 2.2
3	51.9	30.3	7.5	37.8	+ 14.1
4	52.4	35.9	9.1	45.0	+ 7.4

Bei den Versuchspersonen Nr 3 und 4 wurde also eine bedeutende Menge von Stickstoff zurückgehalten (14.1 bzw. 7.4 g), während Nr 1 sich fast im *N*-Gleichgewicht befand und bei Nr 2 ein verhältnismässig kleiner Verlust an Stickstoff auftrat.

V.

Aus diesen Versuchen geht also hervor, *dass von der potentiellen Energie des grobzermahlenen Heumehls im Durchschnitt etwa 32 Proz. resorbiert werden können.* Diese Zahl ist indessen etwas zu hoch, indem die im Darme stattgefundene, ziemlich ausgiebige Gasbildung und der damit zusammenhängende Stoffverlust hierbei nicht berücksichtigt worden sind. Ich möchte daher die Ausnützung des Heumehls nur auf etwa 30 Proz. veranschlagen.

Eine Aufsaugung dieser Grösse ist ja keineswegs gross; da indessen der Genuss von Heumehl das Vermögen unseres Körpers, die in der sonstigen Kost enthaltenen Nahrungsstoffe auszunützen, in keinem grösseren Grade herabsetzt, könnte dem Heumehl möglicherweise eine gewisse Bedeutung als Ersatznahrungsmittel zugeschrieben werden.

Diese Bedeutung wird indessen wegen der Reizung der Mundhöhlen- und Schlundschleimhaut durch die im Heumehl enthaltenen spitzen Teilchen in bemerkenswertem Grade beschränkt. Diese Reizung spielt allerdings, wie es scheint, an und für sich nur eine untergeordnete Rolle, sie spricht aber andererseits stark dafür, dass das Heubrot in gleicher Weise auch die Schleimhaut des Magens und Darmes reizen dürfte. Allerdings boten meine Versuchspersonen kein darauf bezügliches Symptom dar, die Versuche dauerten aber nur drei Tage lang, und es ist ja nicht ausgeschlossen, dass ein länger dauernder Genuss von Heumehl nicht unbedeutende Verdauungsstörungen hätte hervorrufen können.

Die Gefahr wäre natürlich geringer, wenn das Heumehl wesentlich feiner zermahlen werden könnte: dies lässt sich indessen mit den zu unserer Verfügung stehenden Mitteln

kaum erzielen. Es wäre aber möglich, dass die gerügte Unannehmlichkeit des Heumehls durch dessen Verwendung als Brei beseitigt werden sollte, weshalb dasselbe in dieser Form möglicherweise eine gewisse Bedeutung bei Zeiten, wo weder wirkliche Nahrungsmittel noch Fichtenbaumrindenmehl in genügender Menge zu Gebcte stehen, beanspruchen könnte.

Hierbei muss noch berücksichtigt werden, dass die vom Körper zu verwertenden absoluten Mengen der einzelnen Nahrungsstoffe im Heumehl jedenfalls nur sehr gering sein dürften. Die grösste von meinen Versuchspersonen genossene Menge Heumehl betrug 120 g Trockensubstanz pro Tag und enthielt 487 Kal. brutto. Wenn diese zu 30 Proz. im Darme ausgenützt werden, würde also die tägliche Nettozufuhr nur 146 Kalorien entsprechen. Heumehl in den bei meinem Versuchen genossenen Mengen hat also aus dem Gesichtspunkte der Ernährung eine sehr geringe praktische Bedeutung. Damit das Heumehl irgend welche grössere Rolle als Ersatznahrungsmittel spielen soll, muss es in wesentlich grösseren Mengen genossen werden; dies stösst aber offenbar auf bedeutende Schwerigkeiten.

Öfversigt af Finska Vetenskaps-Societetens Förhandlingar.
Bd. LXI. 1918—1919. Afd. A. N:o 18.

Zur Kenntnis der Kohlensäureabgabe bei der Frau unter besonderer Berücksichtigung des Einflusses einer lange dauernden Unterernährung.

Von

Hanna Olin und Carl Tigerstedt.

(Aus dem physiologischen Institut der Universität Helsingfors).

I.

Die Kohlensäureabgabe, bzw. der Gesammtstoffwechsel beim ruhenden Menschen ist Gegenstand zahlreicher 24-stündiger Versuche in der Respirationskammer und im Kalorimeter gewesen. Diese Versuche sind zum allergrössten Teil an Männern ausgeführt worden; unseres Wissens liegt zurzeit nur zwei derartige Versuche an Frauen vor [1]).

Es muss allerdings zugegeben werden, dass wir durch Vergleich der bei den betreffenden Versuchen gezeitigten Resultate mit den Ergebnissen kurzdauernder Versuche an Frauen ziemlich bestimmte Aufschlüsse betreffend die Kohlensäureabgabe bei der ruhenden Frau gewinnen können. Andererseits ist es indessen sehr wünschenwert, diese Frage durch 24-stündige Versuche an Frauen direkt aufzuklären, und wir haben deshalb bei den Arbeiten, welche im hiesigen praktischen Übungskursus den Studierenden vorgelegt

---

[1]) Sondén und R. Tigerstedt, Skand. Arch. f. Physiol., VI, S. 137; 1895 (85-jährige Frau); R. Tigerstedt Nordiskt Medicinskt Arkiv, 1897, Nr 37 (Frau in hysterischem Schlaf).

wurden, unter Anwendung des Respirationsapparates von Sondén und Tigerstedt auch hierher gehörige Versuche aufgenommen [1]).

In dieser Weise sind allmählich 22 Versuche von 24 Stunden Dauer an Frauen ausgeführt worden, und da dieselben unter einer Kontrolle, welche ihre Genauigkeit vollständig garantiert, gemacht worden sind, haben wir es angezeigt gefunden, sie zu veröffentlichen.

Jeder Versuch dauerte 24 Stunden und dabei wurde die Kohlensäureabgabe in der Regel für Perioden von je zwei Stunden bestimmt. In einigen Versuchen (Versuch I und II, VII—XI) umfassten die Perioden je drei Stunden. Ein paar Mal misslang die Probeentnahme und dann wurde die betreffende Periode mit der folgenden zusammengeschlagen.

Betreffend die bei diesen Versuchen erzielte Genauigkeit verweisen wir auf die Prüfung des Apparates, welche von der einen von uns im Skandinavischen Archiv für Physiologie in der nächsten Zeit veröffentlicht werden soll [2]).

Unsere Absicht war. nicht allein die Kohlensäureabgabe bei der normalen Frau zu ermitteln, sondern wir wollten ausserdem untersuchen, in welchem Masse eine mehr oder minder bedeutende Unterernährung auf diese einzuwirken vermag.

Wir stellten daher im Frühling 1916 einige Versuche teils an normal ernährten (sechs Versuche an vier weiblichen Studenten), teils an armen Frauen (vier Versuche an zwei Frauen), welche wegen Mangels an Arbeit und auf Grund der vom Kriege verursachten Verteuerung der Lebensmittel eine längere Zeit unter sehr schlechten Verhältnissen gelebt hatten.

Später gab uns der grosse Mangel an Lebensmitteln, der von der Mitte 1917 bis zu den ersten Monaten 1919 in Helsingfors waltete, eine gute Gelegenheit, unterernährte Frauen zur Untersuchung zu bekommen. Dagegen war es uns nicht möglich, während dieser Zeit normal nutriierten Versuchs-

[1]) C. Tigerstedt, Skand. Arch. f. Physiol., XXXVIII, S. 207; 1919.
[2]) Hanna Olin, Ibidem, XXXVIII, S. 250; 1919.

personen zu erhalten. In Folge dessen beschränken sich die an solchen gemachten Versuche auf die soeben erwähnten, im Frühling 1916 ausgeführten.

Von den hierher gehörigen Versuchen fanden acht in November und Dezember 1918 und vier in Februar 1919 statt.

Die Frauen, welche im Jahre 1918 untersucht wurden, hatten offenbar während einer längeren Zeit an einer bedeutenden Unterernährung gelitten; gehörten sie ja den aller ärmsten Schichten der Gesellschaft und ausserdem waren sie schon eine längere Zeit ohne Arbeit gewesen. Den Grad der Unterernährung, welcher sie ausgesetzt waren, exakt anzugeben, ist natürlich nicht möglich; eine gewisse Andeutung davon liefert indessen die Tatsache, dass unter den wohlhabenderen Klassen der Bevölkerung in Helsingfors eine Gewichtsabnahme von 10 bis 15 kg während der Zeit von September 1917 bis September 1918 fast als allgemeine Regel erschien.

Indessen ist zu bemerken, dass unter den erwähnten acht Versuchspersonen vom Jahre 1918 eine (Nr XII) offenbar zu ihrer Verfügung eine verhältnismässig reichliche Kost gehabt hatte. Dies bedeutet nicht, dass sie wirklich normal nutriiert war, denn auch bei ihr lag eine Unterernährung offenbar vor, diese war aber, unserer Meinung nach, nicht so stark ausgeprägt, wie bei den anderen Versuchspersonen.

Während der letzten Wochen vom Jahre 1918 wurden allerdings die Lebensmittelverhältnisse in Helsingfors etwas besser, und diese Verbesserung schritt im Frühling 1919 allmählich immer weiter. Dabei waren dennoch die Preise für die Nahrungsmittel in einem so hohen Grade in die Höhe getreiben, dass die Unterernährung bei den ärmeren Klassen der Bevölkerung wenigstens während der ersten Monate des Jahres immer weiter zunahm. Die vier Versuchspersonen, welche in Februar 1919 untersucht wurden, waren unter den aller ärmsten ausgesucht, und gerade bei ihnen tritt, wie uns scheint, die Unterernährung in ihrer am stärksten ausgeprägten Form auf.

Ausgehend von den hier kurz entwickelten Gesichtspunkten haben wir unser Versuchsmaterial in folgende vier Gruppen geteilt:

Gruppe A: vier nicht unterernährte weibliche Studenten (sechs Versuche, April 1916).

Gruppe B: zwei unterernährte arme Frauen (vier Versuche, Januar—Februar 1916).

Gruppe C: acht, meistens stark unterernährte Frauen (acht Versuche, November—Dezember 1918).

Gruppe D: vier stark unterernährte Frauen (vier Versuche, Februar 1919).

Die von den Versuchspersonen zu geniessende Kost wurde von ihnen selber ins Institut mitgebracht. In einigen Fällen wurden ihnen ausserdem Kaffee oder Thee ohne Sahne und Brot verabreicht. Das Essen wurde nicht analysiert.

Die Grösse der mitgebrachten Portionen variierte natürlich in hohem Grade. Im allgemeinen waren die weiblichen Studenten mit reichlicher Kost versehen; die Kost der armen Frauen war, mit alleiniger Ausnahme von Nr XII, kärglich. Bei den Versuchen im Winter 1918—1919 wurden in der Regel merkwürdig kleine Speisemengen mitgebracht.

Während der Versuchsdauer stand es den Versuchspersonen vollkommen frei, sich in der Respirationskammer nach Belieben zu beschäftigen. Dabei führten die zu der Gruppe A gehörigen Versuchspersonen eine Art von Protokoll über ihr Tun und Lassen. Dies konnte von den übrigen Versuchspersonen nicht verlangt werden, und wir begnügten aus daher damit, durch ein Fenster das Verhalten der Versuchsperson von Zeit zu Zeit zu beobachten.

Da diese Aufzeichnungen und Beobachtungen indessen kein grösseres Interesse darbieten und die Mitteilung derselben einen viel zu grossen Raum beanspruchen würde, haben wir in den folgenden Bericht über unsere Versuche nur Angaben über die Zeit während welcher die Versuchspersonen zu Bett lagen, bzw. schliefen, aufgenommen.

II.

Die direkten Versuchsresultate sind in folgenden Tabellen zusammengestellt. In denselben sind, nebst gewissen Angaben über die Versuchspersonen usw., die Kohlenstoffabgabe pro Stunde absolut und pro kg Körpergewicht angegeben. Auch haben wir, obwohl unter aller Reserve, die Wärmebildung berechnet, wobei wir angenommen haben, dass 1 g Kohlenstoff 11 Kalorien entspricht.

Gruppe A.

Nicht unterernährte weibliche Studenten; April 1916.

Versuch I. 1. April 1916. L. K., 25 Jahre alt, 153 cm lang; Körpergewicht 48.6 kg. Die Versuchsperson bildet sich zu Masseuse aus; ihre Muskeln sind geübt, fest.

Ging um 10^h $35^{min.}$ nachm. zu Bett, stand um 7^h $20^{min.}$ vorm. auf.

Zeit	Temperatur; °C	C-Abgabe in g.		Kalorien pro Stunde und kg Körpergew.
		pro Stunde. Total	pro Stunde und kg Körpergew.	
9.10 v. M.—12.10	22.8	7.16	0.147	1.62
12.10 n. M.— 3.10	23.7	6.65	0.137	1.51
3.10— 6.10	23.0	7.52	0.155	1.71
6.10— 9.10	22.5	7.59	0.156	1.72
9.10—12.10 v. M.	21.2	7.92	0.163	1.79
12 10— 3.10	20.2	4.51	0.093	1.02
3.10— 6.10	19.7	4.19	0.086	0.95
6.10— 9.10	19.4	6.55	0.135	1.49
Mittel	21.6	6.51	0.134	1.48

Versuch II. 5. April 1916. Dieselbe Versuchsperson wie im Versuch I. Körpergewicht 48.6 kg.

Ging um 11^h $45^{min.}$ zu Bett, stand um 7^h $50^{min.}$ auf.

Zeit	Temperatur; °C	C-Abgabe in g.		Kalorien pro Stunde und kg Körpergew.
		pro Stunde. Total	pro Stunde und kg Körpergew.	
9.05 v. M.—12.05	18.1	6.64	0.137	1.51
12.05— 3.05 n. M.	19.5	7.64	0.157	1.73
3.05— 6.05	19.3	8.24	0.170	1.87
6.05— 9.05	19.7	5.78	0.119	1.31
9.05—12.05 v. M.	19.6	9.83	0.202	2.22
12.05— 3.05	19.0	4.88	0.100	1.10
3.05— 6.05	18.7	4.09	0.084	0.92
6.05— 9.05	18.6	5.66	0.116	1.28
Mittel	19.1	6.60	0.136	1.49

Versuch III. 8. April 1916. J. M. M., Student, 19 Jahre alt 168 cm lang; Körpergewicht 65.9 kg. Die Muskeln nicht geübt; der Nahrungszustand mittelgut.

Ging um 9^{h} $10^{min.}$ nachm. zu Bett, stand um 7^{h} $30^{min.}$ vorm. auf.

Zeit	Temperatur; °C	C-Abgabe in g.		Kalorien pro Stunde und kg Körpergew.
		pro Stunde Total	pro Stunde und kg Körpergew.	
9.40 v. M.—11.40	20.9	10.06	0.153	1.68
11.40— 1.40 n. M.	21.6	12.44	0.189	2.08
1.40— 3.40	21.1	10.26	0.156	1.72
3.40— 5.40	21.4	14.08	0.214	2.35
5.40— 7.40	21.2	13.23	0.201	2.21
7.40— 9.40	20.7	11.64	0.177	1.95
9.40—11.40	20.4	5.69	0.086	0.95
11.40— 1.40 v. M.	19.8	8.07	0.122	1.34
1.40— 3.40	19.4	7.64	0.116	1.28
3.40— 5.40	19.2	7.10	0.108	1.19
5.40— 7.40	19.1	7.10	0.108	1.19
7.40— 9.40	19.8	11.87	0.180	1.98
Mittel	20.4	9.93	0.151	1.66

Versuch IV. 17. April 1916. Dieselbe Versuchsperson wie im Versuch III. Körpergewicht 65.8 kg.

Ging um 8^{h} 50 $^{min.}$ nachm. zu Bett, stand um 9^{h} 5 $^{min.}$ auf.

Zeit	Temperatur; °C	C-Abgabe in g.		Kalorien pro Stunde und kg Körpergew.
		pro Stunde. Total	pro Stunde und kg Körpergew.	
9.20 v. M.—11.20	17.2	8.61	0.131	1.44
11.20— 1.20 n. M.	17.5	9.97	0.152	1.67
1.20— 3.20	17.6	12.22	0.186	2.05
3.20— 5 20	17.6	10.48	0.159	1.75
5.20— 7.20	17.5	11.48	0.174	1.91
7.20— 9.20	17.4	12.76	0.194	2.13
9.20—11.20	17.4	6.05	0.092	1.01
11.20— 1.20 v. M.	17.1			
1.20— 3.20	17.1	6.49	0.099	1.09
3.20— 5.20	17.4	5.15	0.078	0.86
5.20— 7.20	17.4	6.07	0.092	1.01
7.20— 9.20	17.4	7.02	0.101	1.11
Mittel	17.4	8.53	0.129	1.42

Versuch V. 15. April 1916. E. M. M. Student, 23 Jahre alt, 163 cm lang, Körpergewicht 58.2 kg. Die Armmuskeln schlaff, der Nahrungszustand mittelmässig. Promeniert und tanzt viel.

Ruht am Bett 9^{h} 10$^{min.}$—11^{h} 30$^{min.}$ vorm, sowie 5^{h} 50$^{min.}$—6^{h} 20$^{min.}$ nachm., ging um 7^{h} 30$^{min.}$ nachm. zu Bett, stand um 7^{h} 45$^{min.}$ vorm. auf.

Zeit	Temperatur; °C	C-Abgabe in g.		Kalorien pro Stunde und kg Körpergew.
		pro Stunde. Total	pro Stunde und kg Körpergew.	
9.10 v. M.—11.10	18.7	6.19	0.106	1.17
11.10— 1.10 n. M.	20.3	8.80	0.151	1.66
1.10— 3.10	20.5	8.48	0.146	1.61
3.10— 5.10	20.2	10.86	0.187	2.06
5.10— 7.10	20.0	9.67	0.166	1.83
7.10— 9.10	20.3	11.27	0.194	2.13
9.10—11.10	20.4	6.76	0.116	1.28
11.10— 1.10 v. M.	20.0	6.84	0.118	1.30
1.10— 3.10	19.7	5.47	0.094	1.03
3.10— 5.10	19.6	6.13	0.105	1.15
5.10— 7.10	19.5	5.97	0.103	1.13
7.10— 9.10	19.4	10.57	0.182	2.00
Mittel	19.9	8.08	0.139	1.53

Versuch VI. H. L., Candidat der Philosophie, 34 Jahre alt, 149 cm lang; Körpergewicht 50.1 kg.

Ging um 7^{h} $30^{min.}$ nachm. zu Bett, stand um 8^{h} $25^{min.}$ vorm. auf.

Zeit	Temperatur; °C	C-Abgabe in g.		Kalorien pro Stunde und kg Körpergew.
		pro Stunde. Total	pro Stunde und kg Körpergew.	
9.30 v. M. 11.30	18.5	7.91	0.158	1.74
11.30— 1.30 n. M.	20.1	8.39	0.167	1.84
1.30— 3.30	19.4	9.10	0.182	2.00
3.30— 5.30	20.0	7.96	0.159	1.75
5.30— 7.30	20.1	10.01	0.200	2.20
7.30— 9.30	19.7	7.77	0.155	1.71
9.30—11.30	19.1	5.27	0.105	1.16
11.30— 1.30 v. M.	18.5	3.98	0.079	0.87
1.30— 3.30	18.3	5.58	0.111	1.22
3.30— 5.30	18.0	4.77	0.095	1.05
5.30— 7.30	17.9	4.83	0.096	1.06
7.30— 9.30	17.9	8.95	0.179	1.97
Mittel	19.0	7.04	0.141	1.55

Gruppe B.

Etwas unterernährte arme Frauen; Januar—Februar 1916.

Versuch VII. 28. Januar 1916. M. K. W., Gartenarbeiterin ohne beständige Beschäftigung, 61 Jahre alt, 150 cm lang; Körpergewicht 46.0 kg.

Ging um 5h 40min. nachm. zu Bett, stand um 5h 30min. vorm. auf.

Zeit	Temperatur; °C	C-Abgabe in g.		Kalorien pro Stunde und kg Körpergew.
		pro Stunde. Total	pro Stunde und kg Körpergew.	
8.50 v. M.—11.50	18.0	7.78	0.169	1.86
11.50— 2.50 n. M.	19.6	7.72	0.168	1.85
2.50— 5.50	20.0	7.85	0.171	1.88
5.50— 8.50	19.3	5.34	0.116	1.28
8.50—11.50	18.8	5.13	0.112	1.23
11.50— 2.50 v. M.	18.5	4.29	0.093	1.02
2.50— 5.50	18.2	4.96	0.108	1.19
5.50— 8.50 v. M.	18.8	6.02	0.131	1.44
Mittel	18.9	6.14	0.133	1.47

Versuch VIII. 30. Januar 1916. Dieselbe Frau wie im Versuch VII. Körpergewicht 45.8 kg.

Ging um 6h 20min. nachm. zu Bett, stand um 6h 20min. vorm. auf.

Zeit	Temperatur; °C	C-Abgabe in g.		Kalorien pro Stunde und kg Körpergew.
		pro Stunde. Total	pro Stunde und kg Körpergew.	
9.00 v. M.—12.00	19.8	7.83	0.171	1.88
12.00— 3.00 n. M.	22.9	7.94	0.174	1.91
3.00— 6.00	23.5	7.15	0.156	1.72
6 00— 9.00	22.4	4.56	0.100	1.10
9.00—12 00	21.3	4.81	0.105	1.16
12.00— 3.00 v. M.	20.8	4.47	0.098	1.08
3.00— 6.00	20.7	4.27	0.093	1.02
6.00— 9.00	21.3	5.70	0.125	1.38
Mittel	21.6	5.84	0.128	1.41

Versuch IX. 1. Februar 1916. A. M. V., keine beständige Beschäftigung, 42 Jahre alt, 148 cm lang; Körpergewicht 49.7 kg. Ging um $9^h\,20^{min}$ nachm. zu Bett; stand um $8^h\,50^{min}$ vorm. auf.

Zeit	Temperatur; °C	C-Abgabe in g.		Kalorien pro Stunde und kg Körpergew.
		pro Stunde. Total	pro Stunde und kg Körpergew.	
4.30 n. M.—7.30	23.2	7.39	0.149	1.64
7.30— 10.30	23.4	6.74	0.136	1.50
10.30— 1.30 v. M.	21.5	4.15	0.084	0.92
1.30— 4.30	21.2	4.55	0.091	1.00
4.30— 7.30	20.9	4.73	0.095	1.05
7.30—10.30	20.6	6.38	0.128	1.41
10.30— 1.30 n. M	20.5	7.38	0.148	1.63
1.30— 4.30	20.7	8.27	0.166	1.83
Mittel	21.5	6.20	0.125	1.37

Versuch X. 8. Februar 1916. Dieselbe Versuchsperson wie im Versuch IX. Körpergewicht 49.3 kg.

Ging um $9^h\,30^{min}$ nachm. zu Bett; stand um $9^h\,5^{min}$ vorm auf. Lag am Tage 12^h—$12^h.50^{min}$ nachm. und $3^h.30^{min}$—$4_h\,45^{min}$ nachm.

Zeit	Temperatur; °C	C-Abgabe in g.		Kalorien pro Stunde und kg Körpergew.
		pro Stunde. Total	pro Stunde und kg Körpergew.	
6.10 n. M.—9.10	20.1	6.63	0.135	1.49
9.10—12.10 v. M.	19.5	5.23	0.106	1.17
12.10— 3.10	19.1	4.74	0.096	1.06
3.10— 6.10	18.9	4.81	0.098	1.08
6.10— 9.10	22.8	5.57	0.113	1.24
9.10—12.10 n. M.	23.9	6.90	0.140	1.54
12.10— 3.10	21.1	6.94	0.141	1.55
3.10— 6.10	21.1	6.68	0.136	1.50
Mittel	20.8	5.94	0.121	1.33

Gruppe C.

Meistens stark unterernährte Frauen; November—Dezember 1918.

Versuch XI. 6. November 1918. A. S., Waschfrau, während der letzten Monate ohne Arbeit, 35 Jahre alt, 153 cm lang; Körpergewicht 52.4 kg. Nahrungszustand herabgesetzt.

Ging um 9^{h} 45^{min} nachm. zu Bett.

Zeit	Temperatur; °C	C-Abgabe in g. pro Stunde. Total	C-Abgabe in g. pro Stunde und kg Körpergew.	Kalorien pro Stunde und kg Körpergew.
9.50 v. M.—12.50 n. M.	22.3	7.82	0.149	1.64
12.50— 3.50	25.2	9.48	0.181	1.99
3.50— 6.50	24.9	7.81	0.149	1.64
6.50— 9.50	22.0	7.80	0.149	1.64
9.50—12.50 v. M.	21.4	6.91	0.132	1.45
12.50— 3.50	21.1	6.39	0.122	1.34
3.50— 6.50	21.0	6.41	0.122	1.34
6.50— 95.0	23.6	65.9	0.126	1.39
Mittel	22.7	7.40	0.141	1.55

Versuch XII. 9. November 1918. H. K., früher Arbeiterin in einer Kuvertfabrik, zurzeit ohne Arbeit, 27 Jahre alt, 160 cm lang; Körpergewicht 53.2 kg. Nahrungszustand gut. Die Versuchsperson ist nicht eigentlich notleidend gewesen. Zum Versuch brachte sie 3/4 l Milch, 300 g Brot, 100 g Speck, 0.7 l Kartoffeln und einen Teller Brei mit.

Ging um $10^{h}.5^{min}$ nachm. zu Bett, stand um 7^{h} vorm. auf.

Zeit	Temperatur; °C	C-Abgabe in g. pro Stunde. Total	C-Abgabe in g. pro Stunde und kg Körpergew.	Kalorien pro Stunde und kg Körpergew.
9.10 v. M.—11.10	21.0	8.54	0.161	1.77
11.10— 1.10 n. M.	22.6	8.52	0.160	1.76
1.10— 3.10	26.0	10.18	0.192	2.11
3.10— 5.10 •	28.1	9.96	0.187	2.06
5.10— 7.10	24.8	9.11	0.171	1.88
7.10 — 9.10	23.0	7.98	0.150	1.65
9.10—11.10	22.4	8.16	0.154	1.69
11.10— 1.10 v. M.	22.1	5.95	0.112	1.23
1.10 — 3.10	22.0	5.63	0.106	1.17
3.10— 5.10	21.9	5.69	0.107	1.18
5.10— 7.10	21.9	7.56	0.142	1.56
7.10— 9.10	21.8	8.64	0.163	1.79
Mittel	23.1	7.99	0.150	1.65

Versuch XIII. 13. November 1918. I. S., Dienstfrau ohne Arbeit, 39 Jahre alt, 155 cm lang; Körpergewicht 47.9 kg. Nahrungszustand ziemlich schlecht.

Ging um $5^h 30^{min}$ nachm. zu Bett; stand um $5^h 30^{min}$ vorm. auf.

Zeit	Temperatur; °C	C-Abgabe in g. pro Stunde. Total	C-Abgabe in g. pro Stunde und kg Körpergew.	Kalorien pro Stunde und kg Körpergew.
9.15 v. M.—11.15	20.1	6.54	0.137	1.51
11.15 - 1.15 n. M.	22.2	5.87	0.123	1.35
1.15— 3.15	21.9	6.14	0.128	1.41
3.15— 5.15	21.0	8.87	0.185	2.04
5.15— 7.15	21.2	7.28	0.152	1.67
7.15— 9.15	22.0	4.81	0.100	1.10
9.15—11.15	21.5	5.20	0.109	1.20
11.15— 1.15 v. M.	20.8	4.51	0.094	1.03
1.15— 3.15	20.6	4.67	0.097	1.07
3.15— 5.15	20.4	5.48	0.114	1.25
5.15— 7.15	20.3	6.26	0.131	1.44
7.15— 9.15	21.0	5.82	0.122	1.34
Mittel	21.1	5.95	0.124	1.36

Versuch XIV, 16. November 1918. L. L., Arbeiterin ohne beständige Beschäftigung, 42 Jahre alt, 155 cm lang; Körpergewicht 48.6 kg. Nahrungszustand ziemlich schlecht.

Lag 12^{h} 10^{min}—1^{h} 10^{min} sowie 6^{h} 20^{min}—10^{h} 5^{min} nachm., ging um 10^{h} 35^{min} nachm. zu Bett, stand um 6^{h} 35^{min} vorm auf.

Zeit	Temperatur; °C	C-Abgabe in g.		Kalorien pro Stunde und kg Körpergew.
		pro Stunde. Total.	pro Stunde und kg Körpergew.	
9.05 v. M.—11.05	22.4	7.22	0.149	1.64
11.05— 1.05 n. M.	2.72	5.51	0.113	1.24
1.05— 3.05	25.4	6.31	0.130	1.43
3.05— 5.05	22.3	5.69	0.117	1.29
5.05— 7.05	24.2	5.62	0.116	1.28
7.05— 9.05	24.3	4.56	0.094	1.03
9.05—11.05	22.0	4.54	0.094	1.03
11.05— 1.05 v. M.	21.6	5.26	0.108	1.19
1.05— 3.05	21.3	4.64	0.096	1.06
3.05— 5.05	21.1	4.65	0.096	1.06
5.05— 7.05	21.0	5.88	0.121	1.33
7.05— 9.05	21.0	5.48	0.113	1.24
Mittel	22.8	5.44	0.112	1.23

Versuch XV. 3. Dezember 1918. E. R., Näherin ohne beständige Beschäftigung, 43 Jahre alt, 148 cm lang; Körpergewicht 40.0 kg. Nahrungszustand schlecht.

Ging um 7^{h} 15^{min} nachm. zu Bett; stand um 8^{h} 30^{min} vorm. auf.

Zeit	Temperatur; °C	C-Abgabe in g. pro Stunde. Total.	C-Abgabe in g. pro Stunde und kg Körpergew.	Kalorien pro Stunde und kg Körpergew.
4.10 n. M.—6.10	24.3	7.66	0.192	2.11
6.10— 8.10	26.7	8.27	0.207	2.28
8.10—10.10	24.2	5.47	0.137	1.51
10.10—12.10 v. M.	21.6	5.65	0.141	1.55
12.10— 2.10	21.1	5.02	0.126	1.39
2.10— 4.10	20.8	4.91	0.123	1.35
4.10— 6.10	20.5	3.97	0.099	1.09
6.10— 8.10	20.2	5.02	0.126	1.39
8.10—10.10	22.9	5.95	0.149	1.64
10.10—12.10 n. M.	24.9	7.67	0.192	2.11
12.10— 2.10	24.1	6.87	0.172	1.89
2.10— 4.10	23.1	6.98	0.175	1.93
Mittel	22.9	6.12	0.153	1.68

Versuch XVI. 6. Dezember 1918. S. A. Arbeiterin in einer Bonbon-Fabrik, jetzt ohne Arbeit, 19 Jahre alt, 159 cm lang; Körpergewicht 58.1 kg. Nahrungszustand ziemlich gut; die Versuchsperson scheint indessen schwächlich zu sein. Esslust schlecht.

Ging um 9^h nachm. zu Bett, stand um 7^h 45^{min} vorm. auf.

Zeit	Temperatur; °C	C-Abgabe in g. pro Stunde. Total.	C-Abgabe in g. pro Stunde und kg Körpergew.	Kalorien pro Stunde und kg Körpergew.
3.40 n. M.— 5.40	22.3	7.43 (3.40–7.40)	0.128	1.41
5.40— 7.40	24.3			
7.40— 9.40	24.6	10.15	0.175	1.93
9.40—11.40	24.2	6.01	0.103	1.13
11.40— 1.40 v. M.	23.8	5.23	0.090	0.99
1.40— 3.40	23.2	5.33	0.092	1.01
3.40— 5.40	21.9	6.31	0.109	1.20
5.40— 7.40	21.2	5.32	0.092	1.01
7.40— 9.40	21.1	8.53	0.147	1.62
9.40—11.40	21.3	8.02	0.138	1.52
11.40— 1.40 n. M.	21.0	6.57	0.113	1.24
1.40— 3.40	24.1	7.72	0.133	1.46
Mittel	22.7	7.01	0.121	1.33

Versuch XVII. 9. Dezember 1918. S. L., Dienstmagd ohne Arbeit, 26 Jahre alt, 155 cm lang; Körpergewicht 56.0 kg. Hat 5.—27. November an Influenza gelitten und fühlt sich immer noch schwach. Kräftiger Körperbau.

Ging um 7^h 15^{min} nachm. zu Bett; stand um 7^h 54^{min} vorm. auf.

Zeit	Temperatur; °C	C-Abgabe in g.		Kalorien pro Stunde und kg Körpergew.
		pro Stunde. Total.	pro Stunde und kg Körpergew.	
9.55 v. M. – 11.55	20.9	6.84	0.122	1.34
11.55— 1.55 n. M.	19.9	5.42	0.097	1.07
1.55— 3.55	20.0	6.69	0.119	1.31
3.55— 5.55	20.1	6.74	0.120	1.32
5.55— 7.55	20.8	7.45	0.133	1.46
7.55— 9.55	20.8	5.42	0.097	1.07
9.55—11.55	19.9	5.49	0.098	1.08
11.55— 1.55 v. M.	19.8	5.42	0.097	1.07
1.55— 3.55	19.7	4.54	0.081	0.89
3.55— 5.55	19.6			
5.55— 7.55	19.6	4.82	0.086	0.95
7.55— 9.55	18.6	6.40	0.114	1.25
Mittel	20.0	5.81	0.104	1.14

Versuch XVIII. 12. Dezember 1918. H. L., Arbeiterin ohne Arbeit, 37 Jahre alt, 156 cm lang; Körpergewicht 59.1 kg. Früher kräftig, wegen der jetzt herschenden Verhältnisse geschwächt.

Ging um 8^h 30^{min} nachm. zu Bett; stand um 7^h 30^{min} vorm. auf.

Zeit	Temperatur; °C	C-Abgabe in g.		Kalorien pro Stunde und kg Körpergew.
		pro Stunde. Total.	pro Stunde und kg Körpergew.	
9.40 v. M.—11.40	21.9	8.25	0.140	1.54
11.40— 1.40 n. M.	26.8	7 26	0.123	1.35
1.40— 3.40	25.5	6.70	0.113	1.24
3.40— 5.40	24.5	6.22	0.105	1.16
5.40— 7.40	25.2	5.25	0.089	0.98
7.40— 9.40	23.7	6.52	0.110	1.21
9.40—11.40	23.5	3.73	0.063	0.69
11.40— 1.40 n. M.	23.4	4.52	0.076	0.84
1.40— 3.40	21.2	3.78	0.064	0.70
3.40— 5.40	20.6	4.82	0.082	0.90
5.40— 7.40	19.6	5.18	0.088	0.97
7.40— 9.40	24.1	5.94	0.100	1.10
Mittel	23.3	5.68	0.096	1.06

Gruppe D.

Stark unterernährte arme Frauen; Februar 1919.

Versuch XIX. 5. Februar 1919. S. B., Waschfrau. 66 Jahre alt, 152 cm lang; Körpergewicht 53.8 kg. Für ihr Alter kräftig.

Ging um 9^{h} 30^{min} nachm. zu Bett; stand um 7 vorm. auf.

Zeit	Temperatur; °C	C-Abgabe in g.		Kalorien pro Stunde und kg Körpergew.
		pro Stunde. Total.	pro Stunde und kg Körpergew.	
8.50 v. M.—10.50	25.2	6.83	0.127	1.40
10.50—12.50 n. M.	27.0	7.64	0.142	1.56
12.50— 2.50	25.2	7.62	0.142	1.56
2.50— 4.50	24.7	9.54	0.177	1.95
4.50— 6.50	25·4	7.62	0.142	1.56
6.50— 8.50	24.1	7.60	0.141	1.55
8.50—10.50	23.5	6.71	0.125	1.38
10.50—12.50 v. M.	23.1	5.91	0.110	1.21
12.50— 2.50	22.2	4.88	0.091	1.00
2.50— 4.50	21.8	4.34	0.081	0.89
4.50— 6.50	21.6	4.93	0.092	1.01
6.50— 8.50	21.5	6.48	0.120	1.32
Mittel	23.8	6.68	0.124	1.36

Versuch XX. 19 Februar 1919. H. H., Arbeiterin ohne beständige Beschäftigung, 26 Jahre alt, 157 cm lang; Körpergewicht 56.1 kg. Nahrungszustand schlecht. Aussehen blass.

Schlief $1^h\ 50^{min}$—$3^h\ 10^{min}$ nachm; ging um $9^h\ 15^{min}$ zu Bett, stand um $7^h\ 30^{min.}$ auf.

Zeit	Temperatur; °C	C-Abgabe in g.		Kalorien pro Stunde und kg Körpergew.
		pro Stunde. Total.	pro Stunde und kg Körpergew.	
9.50 v. M.—11.50	28.5	7.44	0.133	1.46
11.50— 1.50 n. M.	30.9	6.31	0.112	1.23
1.50— 3.50	29.5	6.48	0.115	1.27
3.50— 5.50	26.4	6.57	0.117	1.29
5.50— 7.50	26.4	7.58	0.135	1.49
7.50— 9.50	26.0	5.98	0.107	1.18
9.50—11.50	25.8	4.22	0.075	0.83
11.50— 1.50 v. M.	24.7	4.30	0.077	0.85
1.50— 3.50	23.4	4.13	0.074	0.81
3.50— 5.50	22.8	4.20	0.075	0.83
5.50— 7.50	23.8	6.72	0.120	1.32
7.50— 9.50	27.0	6.43	0.115	1.27
Mittel	26.3	5.86	0.105	1.15

Versuch XXI. 24. Februar 1919. A. L. K., Näherin ohne beständige Beschäftigung, 32 Jahre alt, 149 cm lang; Körpergewicht 48.9 kg. Nahrungszustand mittelgut.

Ging um $8^h\ 10^{min}$ nachm. zu Bett; stand um $6^h\ 30^{min}$ vorm. auf.

Zeit	Temperatur; °C	C-Abgabe in g. pro Stunde. Total.	C-Abgabe in g. pro Stunde und kg Körpergew.	Kalorien pro Stunde und kg Körpergew.
10.55 v. M–12.55 n. M	22.0	5.50	0.112	1.23
12.55— 2.55	23.4	7.71	0.158	1.74
2.55— 4.55	24.2	6.89	0.141	1.55
4.55— 6.55	25.8	5.62	0.115	1.27
6.55— 8.55	26.8	5.01	0.103	1.13
8.55—10.55	24.7	3.41	0.070	0.77
10.55—12.55 v. M.	22.4			
12.55— 2.55	21.3	3.47	0.071	0.78
2.55— 4.55	21.9	3.91	0.080	0.88
4.55— 6.55	21.0	4.31	0.088	0.97
6.55— 8.55	25.4	5.49	0.112	1.23
8.55—10.55	29.8	5.25	0.107	1.18
Mittel	24.1	5.00	0.102	1.12

Versuch XXII. 17. Februar 1919. I. K., Arbeiterin ohne beständige Beschäftigung, 40 Jahre alt, 151 cm lang; Körpergewicht 52.0 kg. Nahrungszustand schlecht.

Schlief zwischen 1^h 30^{min} und 5^h 30^{min} nachm., ging etwa um 11 nachm. zu Bett, stand um 6^h 30^{min} vorm. auf.

Zeit	Temperatur; °C	C-Abgabe in g. pro Stunde. Total.	C-Abgabe in g. pro Stunde und kg Körpergew.	Kalorien pro Stunde und kg Körpergew.
8.55 v. M.—10.55	23.6	6.99	0.134	1.47
10.55—12.55 n. M.	24.3	7.51	0.144	1.58
12.55— 2.55	28.2	4.39	0.084	0.92
2.55— 4.55	29.4	8.53	0.164	1.80
4.55— 6.55	29.6	7.34	0.141	1.55
6.55— 8.55	30.0	6.55	0.126	1.39
8.55—10.55	30.3	4.37	0.084	0.92
10.55—12.55 v. M.	29.1	4.14	0.080	0.88
12.55— 2.55	27.7	6.41	0.123	1.35
2.55— 4.55	25.5	9.20	0.177	1.95
4.55— 6.55	23.1	7.83	0.151	1.66
6.55— 8.55	26.5	6.23	0.120	1.32
Mittel	27.3	6.62	0.127	1.20

III.

Die während der einzelnen Versuchsperioden bei den Versuchen an den *weiblichen Studenten* (Versuch I—VI) stattgefundene Kohlenstoffabgabe zeigt ziemlich bedeutende Variationen.

In der folgenden Tabelle I haben wir das in jedem Versuch beobachtete Maximum und Minimum zusammengestellt.

Tab. I.

Versuch	C-Abgabe pro Stunde in g. Total		C-Abgabe pro Stunde in g. pro kg Körpergew.		Kalorien pro Stunde und kg Körpergew.	
	Minimum	Maximum	Minimum	Maximum	Minimum	Maximum
I . .	4.19	7.92	0.086	0.163	0.95	1.79
II . .	4.09	9.83	0.084	0.202	0.92	2.22
III . .	5.69	14.08	0.086	0.214	0.95	2.35
IV . .	5.15	12.76	0.078	0.194	0.86	2.13
V . .	5.47	11.27	0.094	0.194	1.03	2.13
VI . .	3.98	10.01	0.079	0.200	0.87	2.20
Mittel	4.76	10.98	0.085	0.195	0.92	2.14

Die absolute Kohlenstoffabgabe ist also am niedrigsten im Versuch VI (3.98 g, 11^{h} $30^{min.}$ nachm. — 1^{h} $30^{min.}$ vorm.), und am höchsten im Versuch III (14.08 g, 3^{h} $40^{min.}$—5^{h} $40^{min.}$ nachm).

Pro kg und Stunde berechnet beträgt das Minimum 0.078 (Versuch IV, 3^{h} $20^{min.}$—5^{h} $20^{min.}$ vorm.) und das Maximum 0.214 g (Versuch III, 3^{h} $40^{min.}$ nachm.). Nach der oben angegebenen Verhältniszahl würde dies einer Verbrennung von 0.86 bzw. 2.35 Kal. entsprechen.

Im Durchschnitt beträgt die geringste in den verschiedenen Versuchen beobachtete Kohlenstoffabgabe 0.085 g (= 0.92 Kal.) pro kg Körpergewicht und Stunde.

Die maximale Kohlenstoffabgabe in allen Versuchen ist 0 195 g (= 2.14 Kal.) pro kg Körpergewicht und Stunde.

Der Unterschied zwischen Maximum und Minimum beträgt 129 Proz. von der niedrigeren Zahl.

Die aus den einzelnen Versuchen hervorgegangenen wesentlichsten Resultate sind in Tab. II zusammengestellt. Hier ist auch die pro qm Körperoberfläche und Stunde berechnete Kohlenstoffabgabe eingetragen. Diese Berechnung hat unter Anwendung der Formel von Meeh: $O = 12.3 \sqrt[3]{g^2}$, wo O die Körperoberfläche und g das Körpergewicht bezeichnet, stattgefunden.

Die gesammte Kohlenstoffabgabe hat also in den einzelnen Versuchen zwischen 169 (Nr VI) und 238 g (Nr III) variiert.

Der Grund dieser grossen Variation liegt grösstenteils in dem sehr verschiedenen Körpergewicht der Versuchspersonen. Wenn wir nämlich die Kohlenstoffabgabe auf kg Körpergewicht bzw qm Körperoberfläche berechnen, so erhalten wir Zahlen, welche ziemlich nahe untereinander übereinstimmen. Dieselbe beträgt nämlich in den Versuchen, wo sie am kleinsten ist, 0.129 g pro kg und Stunde (Versuch IV) bzw. 3.97 g pro qm und Stunde (Versuch I), und da, wo sie ihr Maximum hat, 0.151 g pro kg und Stunde (Versuch III) bzw. 4.95 g pro qm und Stunde (ebenfalls Versuch III). Die Differenz zwischen Minimum und Maximum beträgt also 17 bzw. 25 Proz. des niedrigeren Wertes.

Im Mittel aller sechs Versuche ist die stündliche Kohlenstoffabgabe pro kg 0.138 g und pro qm 4.30 g. Die grössten Abweichungen vom Mittel betragen 0.013 bzw. 0.65 g, d. h. 9 bzw. 15 Proz.

Je zwei von den vorliegenden Versuchen sind an einer und derselben Versuchsperson ausgeführt worden. Bei der einen (Versuch I und II) geben die Versuche untereinander sehr nahe übereinstimmende Resultate: die gesammte Kohlenstoffabgabe ist im ersten 156 g und im zweiten 158 g. — Bei der anderen Versuchsperson (Versuch III und IV) erscheint aber ein ziemlich bedeutender Unterschied, indem

Tab. II. *A. Weibliche Studenten; April 1916.*

Versuch	Alter; Jahre	Körpergewicht; kg	Körperlänge; cm	Beruf	Temperatur; °C	C-Abgabe in g				Kalorien pro kg Körpergewicht u. Stunde	Anmerkungen
						Total		pro qm Körperoberfl. u. Stunde	pro kg Körpergewicht u. Stunde		
						pro 24 Stunden	pro Stunde				
I	25	48.6	153	Student	21.6	156	6.51	3.97	0.134	1.48	Dieselbe Person
II	25	48.6	153	Student	19.1	158	6.60	4.03	0.136	1.49	
III	19	65.9	168	Student	20.4	238	9.93	4.95	0.151	1.66	Dieselbe Person
IV	19	65.8	168	Student	17.4	205	8.53	4.26	0.129	1.42	
V	23	58.2	163	Student	19.9	194	8.08	4.37	0.139	1.53	
VI	34	50.1	148.5	Candidat	19.0	169	7.04	4.21	0.141	1.55	
Mittel	24	56.2	159		19.6	187	7.78	4.30	0.138	1.52	

die gesammte Kohlenstoffabgabe im Versuch III 238 g, im Versuch IV nur 205 g beträgt. Die Ursache dieses Unterschiedes liegt zum Teil wenigstens darin, dass die Versuchsperson im Versuch III fast 2 Stunden weniger als im Versuch IV schlief, bzw. im Bette lag. Auch dürfte, nach der Kohlenstoffabgabe zu urteilen, der Schlaf im Versuch IV tiefer als im Versuch III gewesen sein (vgl. die Versuchstabelle S. 6 und 7).

Da der Vergleich unserer Resultate an normal ernährten weiblichen Studenten mit den früher an männlichen Individuen derselben Gesellschaftsklasse gewonnenen ein nicht geringes Interesse darbieten, haben wir die Ergebnisse einiger früher veröffentlichten Versuche an männlichen Studenten bzw. Ärzten in der Tabelle III zusammengestellt.

Die gesammte Kohlenstoffabgabe beträgt in diesen Versuchen durchschnittlich 222 g pro 24 Stunden und 9.23 g pro Stunde. Sie ist also, wie selbstverständlich, wesentlich grösser als die bei unseren Versuchen an weiblichen Studenten gefundene (187, bzw. 7.78 g). Indessen hatte eine unserer Versuchspersonen (Nr III) eine gesammte Kohlenstoffabgabe, welche das bei den Männern gefundene Mittel nicht wenig übertrifft; in diesem Fall war aber das Körpergewicht der Versuchsperson etwas grösser als das mittlere Körpergewicht der in Tab. III aufgenommenen männlichen Individuen.

Pro qm Körperoberfläche und Stunde variiert die Kohlenstoffabgabe der betreffenden männlichen Individuen zwischen 3.95 (*F*) und 5.59 (*N*). Das Mittel beträgt 4.64.

Das bei unseren weiblichen Versuchspersonen erhaltene Mittel ist 4.30 g und zeigt also mit jenem eine nicht geringe Übereinstimmung.

Diese stellt sich noch grösser dar, wenn die Kohlenstoffabgabe pro kg Körpergewicht und Stunde berechnet wird: sie beträgt dann für die männlichen Individuen 0.142 und für die weiblichen 0.138 g.

Der geringe Umfang unseres Versuchsmaterials im Vergleich mit dem Material, das sich auf männliche Individuen bezieht, gestattet uns nicht, die Frage nach der relativen

Tab. III. *Männliche Studenten usw.*

Nr	Autor	Körpergewicht d. Versuchspers. kg.	C-Abgabe in g			
			Total		pro qm Körperoberfl. u. Stunde	pro kg Körpergewicht u. Stunde
			pro 24 Stunden	pro Stunde		
A	Ranke[1]	71.9	214	8.91	4.19	0.124
B	Sondén und	57.0	197	8.19	4.49	0.144
C	Tigerstedt[2] .	71.2	234	9.74	4.61	0.137
D	» »	63.0	187	7.78	4.00	0.124
E	» »	69.5	228	9.52	4.58	0.137
F	» »	83.5	223	9.28	3.95	0.111
G	» »	72.7	230	9.58	4.47	0.132
H	» »	55.0	201	8.36	4.70	0.152
I	Bjerre[3]	63.0	213	8.86	4.55	0.141
K. 1	Sivén[4]	60.2	185	7.72	4.09	0.128
K. 2	»	64.8	195	8.13	4.17	0.126
K. 3	»	65.0	202	8.42	4.23	0.130
L	Clopatt[5] . . .	73.0	214	8.90	4.14	0.122
M	Ekholm[6] . . .	63.9	247	10.31	5.24	0.161
N	» . . .	53.2	233	9.72	5.59	0.183
O	» . . .	58.5	210	8.73	4.71	0.149
P	» . . .	63.0	216	8.98	4.61	0.143
Q	» . . .	71.6	245	10.19	4.80	0.142
R	» . . .	63.6	215	8.96	4.57	0.141
S	» . . .	63.2	222	9.25	4.74	0.146
T	» . . .	62.1	258	10.73	5.56	0.173
U	» . . .	64.9	256	10.65	5.36	0.164
W	» . . .	71.0	271	11.27	5.34	0.159
	Mittel	65.4	222	9.23	4.64	0.142

[1]) Ranke, Arch. f. Anat. und Physiol., physiol. Abth., 1862, S. 311.
[2]) Sondén u. Tigerstedt, Skand. Arch. f. Physiol., VIII, S. 106; 1898.
[3]) Bjerre, Ibid. IX, S. 323; 1899.
[4]) Sivén, Ibid. X, S. 91; 1899; Ibid. XI, S. 308; 1901.
[5]) Clopatt, Ibid. XI, S. 354; 1901.
[6]) Ekholm, Ibid. XI, S. 1; 1901.

Grösse der Verbrennung bei Männern und Frauen näher zu erörtern. Da indessen die Kohlenstoffabgabe bei den letzteren pro qm Körperoberfläche geringer und pro kg Körpergewicht wenigstens nicht grösser ist, als bei den Männern, glauben wir uns jedenfalls berechtigt auszusprechen, dass *das aus unseren Versuchen berechnete Mittel der Kohlenstoffabgabe bei normal ernährten ruhenden Frauen keineswegs zu hoch ist, vielmehr dürfte es als verhältnismässig niedrig bezeichnet werden können.*

IV.

Die Kohlenstoffabgabe bei den zu den Gruppen B—D gehörigen Versuchspersonen ist in den Tabellen IV—VI in derselben Weise wie in der Tabelle II berechnet worden.

Bei den unterernährten Frauen variiert die gesammte Kohlenstoffabgabe zwischen 120 (Nr XXI) und 192 g (Nr XII) pro 24 Stunden und beträgt bei den einzelnen Gruppen B, C und D durchschnittlich bzw. 145, 154 und 145 g.

Bei den weiblichen Studenten war dieses Mittel 187 g; dasselbe wird nur von einer einzigen der unterernährten Frauen (Nr XII) erreicht.

Die verhältnismässig geringe Kohlenstoffabgabe, die also bei den unterernährten Frauen nachgewiesen worden ist, kann indessen zum Teil wenigstens auf ihr geringeres Körpergewicht bezogen werden — dasselbe ist bei den Gruppen B, C und D durchschnittlich 47.7, 51.9 und 52.7 kg, 56.2 kg bei den weiblichen Studenten gegenüber. Allerdings ist ja das geringere Körpergewicht teilweise ein Symptom der Unterernährung, da aber auch die Länge der betreffenden Frauen, durchschnittlich 149, 155 und 152 cm, nicht unwesentlich kleiner war als die der weiblichen Studenten — im Mittel 159 cm, ist es nicht möglich, irgend welche Schlussfolgerungen betreffend die Abhängigkeit des Körpergewichtes von der Unterernährung zu ziehen. Und aus dem gleichen Grunde ist auch nicht die Grösse der gesammten Kohlenstoffabgabe an und für sich geeignet um nähere Aufschlüsse über den Einfluss der Unterernährung zu geben.

Tab. IV. *B. Arme Frauen; Januar—Februar 1916.*

Versuch	Alter; Jahre	Körpergewicht; kg	Körperlänge; cm	Beruf	Temperatur °C	C-Abgabe in g: Total, pro 24 Stunden	C-Abgabe in g: Total, pro Stunde	C-Abgabe in g: pro qm Körperoberfl. u. Stunde	C-Abgabe in g: pro kg Körpergewicht u. Stunde	Kalorien pro kg Körpergew. und Stunde	Anmerkungen
VII	61	46.0	150	Gartenarbeiterin	18.9	147	6.14	3.89	0.133	1.47	Dieselbe Person
VIII	61	45.8	150	»	21.6	140	5.84	3.71	0.128	1.41	
IX	42	49.7	148	Gelegentliche Arbeit	21.5	149	6.20	3.73	0.125	1.37	Dieselbe Person
X	42	49.3	148	»	20.8	143	5.94	3.59	0.121	1.33	
Mittel	52	47.7	149	—	20.7	145	6.03	3.73	0.127	1.40	

Tab. V. *C. Arme Frauen; November—December 1918.*

Versuch	Alter; Jahre	Körpergewicht; kg	Körperlänge; cm	Beruf	Temperatur; °C	C-Abgabe in g				Kalorien pro kg Körpergewicht u. Stunde
						Total		pro qm Körperoberfl. u. Stunde	pro kg Körpergewicht u. Stunde	
						pro 24 Stunden	pro Stunde			
XI	35	52.4	153	Waschfrau	22.7	178	7.40	4.30	0.141	1.55
XII	27	53.2	160	Fabriksarbeiterin . . .	23.1	192	7.99	4.59	0.150	1.65
XIII	39	47.9	155	Dienstfrau	21.1	143	5.95	3.67	0.124	1.36
XIV	42	48.6	155	Arbeiterin	22.8	131	5.44	3.32	0.112	1.23
XV	43	40.0	147.5	Näherin	22.9	147	6.12	4.25	0.153	1.68
XVI	19	58.1	159	Fabriksarbeiterin . . .	22.7	168	7.01	3.80	0.121	1.33
XVII	26	56.0	154.5	Dienstmagd	20.0	139	5 81	3.23	0.104	1.14
XVIII	37	59.1	156	Arbeiterin	23.3	136	5.68	3.04	0.096	1.06
Mittel	34	51.9	155		22.3	154	6.43	3.77	0.125	1.38

Tab. VI. *D. Arme Frauen; Februar 1919.*

Versuch	Alter; Jahre	Körpergewicht; kg	Körperlänge; cm	Beruf	Temperatur; °C	C-Abgabe in g				Kalorien pro kg Körpergewicht und Stunde
						Total		pro qm Körperoberfl. und Stunde	pro kg Körpergewicht und Stunde	
						pro 24 Stunden	pro Stunde			
XIX	66	53.8	151.5	Waschfrau .	23.8	160	6.68	3.81	0.124	1.36
XX	26	56.1	157	Arbeiterin .	26.3	141	5.86	3.25	0.105	1.15
XXI	32	48.9	149	Näherin . .	24.1	120	5.00	3.04	0.102	1.12
XXII	40	52.0	151	Arbeiterin .	27.3	159	6.62	3.86	0.127	1.40
Mittel	41	52.7	152		25.4	145	6.04	3.49	0.115	1.26

Tab. VII. *Zusammenfassung.*

	Zahl der Fälle[1]	Alter; Jahre	Körpergewicht; kg.	Körperlänge; cm	Temperatur; °C	C-Abgabe in g				Kalorien pro kg Körpergewicht u. Stunde
						Total		pro qm Körperoberfl. u. Stunde	pro kg Körpergewicht u. Stunde	
						pro 24 Stunden	pro Stunde			
Studenten; April 1916	6 (4)	24	56.2	159	19.6	187	7.78	4.30	0.138	1.55
Arme Frauen; Jan.—Febr. 1916	4 (2)	52	47.7	149	20.7	145	6.03	3.73	0.127	1.40
Arme Frauen; Nov.—Dez. 1918	8 (8)	34	51.9	155	22.3	154	6.43	3.77	0.125	1.38
Arme Frauen; Febr. 1919	4 (4)	41	52.7	152	25.4	145	6.04	3.49	0.115	1.26
Mittel	22 (18)	36	52.5	154	21.8	160	6.65	3.82	0.127	1.40

[1]) Die Zahlen innerhalb der Klammern geben die Anzahl der Versuchspersonen an.

Pro kg und Stunde variiert die Kohlenstoffabgabe bei den unterernährten Frauen zwischen 0.096 (Nr XVIII) und 0.153 g (Nr XV) und ist bei den einzelnen Gruppen durchschnittlich 0.127, 0.125 und 0.115 g. Die Kohlenstoffabgabe bei den weiblichen Studenten pro kg und Stunde betrug durchschnittlich 0.138 g und war also in beachtenswertem Grade grösser als die der armen Frauen. Von den letzteren boten nur drei (unter 14 *verschiedenen* Versuchspersonen) eine Kohlenstoffabgabe dar, welche pro kg Körpergewicht das bei den nicht-unterernährten Frauen gefundene Mittel übertraf, und andererseits hatten unter diesen keine einzige eine pro kg berechnete Kohlenstoffabgabe von dem geringen Umfange, welche die unterernährten Frauen im Durchschnitt zeigten.

Ganz dasselbe ergibt sich aus der Berechnung der Kohlenstoffabgabe pro qm Körperoberfläche.

Dieselbe wechselt bei den armen Frauen zwischen 3.04 (Nr XVIII und XXI) und 4.59 g (Nr XII) und ist im Durchschnitt bei den Gruppen B, C und D bzw. 3.73, 3.77 und 3.49 g. Das Mittel für die der Gruppe A gehörigen Frauen ist dagegen 4.30 g. Dasselbe wird nur von einer einzigen der armen Frauen (Nr XII) erreicht. Die bei diesen gefundenen mittleren Werte werden von allen nicht-unterernährten Frauen übertroffen.

Die von uns untersuchten armen Frauen haben also eine Kohlenstoffabgabe, welche sowohl an und für sich als auch pro kg Körpergewicht oder pro qm Körperoberfläche berechnet entschieden kleiner ist also diejenige, welche bei den normal ernährten Frauen beobachtet wurde.

Bei den Versuchen an den weiblichen Studenten war die Temperatur in der Respirationskammer allerdings niedriger (durchschnittlich 19.6° C) als bei den Versuchen an den armen Frauen (durchschnittlich 20.7, 22.3, 25.4). Es scheint uns aber, auf Grund der vorliegenden Erfahrungen über den Einfluss der Temperaturschwankungen auf den Stoffwechsel des Menschen [1], nicht möglich, die Differenz

[1] Vgl. Sjöström, Dies Archiv, XXX, S. 41; 1913.

der Kohlenstoffabgabe als alleinige Folge dieser verschiedenen Temperatur zu deuten. Vielmehr muss die Ursache der niedrigen Kohlenstoffabgabe bei den armen Frauen offenbar in der Unterernährung, welcher diese ausgesetzt gewesen sind, gesucht werden. Dass Zufälligke ten hierbei keine bedeutendere Rolle haben spielen können, geht aus der Tatsache hervor, dass die an den weiblichen Studenten beobachteten Zahlen, welche wie oben bemerkt als verhältnismässig niedrig bezeichnet werden müssen, fast durchgehend höher sind als die an den armen Frauen gefundenen.

Zum Teil wird diese Auffassung dadurch bestätigt, dass die niedrigste Kohlenstoffabgabe gerade bei denjenigen Gruppen, wo die Unterernährung am grössten gewesen ist und am längsten gedauert hat, nachgewiesen wurde.

So haben die der Gruppe D gehörigen, offenbar am meisten unterernährten Frauen eine mittlere Kohlenstoffabgabe von nur 0.115 g pro kg und Stunde, während das Mittel für die Gruppe C 0.125 und für die Gruppe B, wo die Unterernährung wahrscheinlich am geringsten war, 0.127 g ist. Hierbei muss auch bemerkt werden, dass eine der Versuchspersonen in der Gruppe C (Nr XII), wie es scheint, nicht unter gar zu schweren Kostverhältnissen gelebt hat. Wird diese Versuchsperson bei der Berechnung des Mittels ausgeschlossen, so stellt sich die Kohlenstoffabgabe bei den am Ende des Jahres 1918 untersuchten Frauen gleich 0.122 g und nähert sich somit wesentlich der bei der Gruppe D beobachteten.

Die von der Unterernährung hervorgerufene Abnahme der Kohlenstoffabgabe muss wesentlich als der Ausdruck eines verminderten Gesammtstoffwechsels ausgefasst werden.

Aus der Bestimmung der Kohlenstoffabgabe allein ist es uns allerdings nicht möglich, exakte Schlussfolgerungen über die Grösse des Gesammtstoffwechsels zu ziehen, da ja der kalorische Wert des abgegebenen Kohlenstoffes wesentlich variiert, je nachdem dieser Fett, Kohlehydraten oder Eiweiss entstammt.

Die Kost, welche unsere Versuchspersonen genossen, wurde nicht analysiert. Aber sowohl die Kenntnis der zur

Versuchszeit waltenden Lebensmittelverhältnisse als auch die Aufzeichnungen, welche über die Beschaffenheit und die Menge der von den Versuchspersonen verzehrten Kost gemacht wurden, lehren ganz bestimmt, dass diese bei den unterernährten Frauen, mit Ausnahme von Nr XII, wesentlich ärmer an Fett war als die Kost der weiblichen Studenten.

Der aus der im Körper verbrannten Kost stammende Kohlenstoff hatte also bei den unterernährten Frauen unzweifelhaft einen geringeren Wärmewert als bei den weiblichen Studenten.

Andererseits genügte aber diese Kost in der Mehrzahl der Fälle wohl kaum, um den Bedarf des Körpers vollständig zu decken, und ein Teil der Energieproduktion fand also wahrscheinlich auf Kosten des Körpers selber statt. Hierbei ist das Körperfett zu Grunde gegangen, und dies muss seinerseits den kalorischen Wert des von den unterernährten Frauen abgegebenen Kohlenstoffes in einem gewissen Grade erhöht haben.

Keinesfalls kann aber eine derartige Steigerung von einem so grossen Betrag gewesen sein, dass hierdurch die verhältnismässig geringe Abgabe von Kohlenstoff in kalorischer Hinsicht hätte kompensiert werden können.

Die geringe Kohlenstoffabgabe stellt also tatsächlich den Ausdruck eines niedrigen Gesammtstoffwechsels dar.

Als Ursachen desselben kann teils eine Abnahme der lebendigen Substanz im Körper, teils ein in Folge der Unterernährung hervorgerufener Schwächezustand mit denselben begleitender Abnahme des Muskeltonus und der Intensität der willkürlichen Bewegungen in Betracht gezogen werden.

Dass letzterer Umstand dennoch nicht die alleinige Ursache der niedrigen Kohlenstoffabgabe bei den unterernährten Frauen darstellen kann, geht mit aller Deutlichkeit aus den niedrigen Werten hervor, welche bei einigen Versuchspersonen während des Schlafes beobachtet worden sind. So beträgt die Kohlenstoffabgabe pro kg und Stunde im Versuch XVIII während vier nacheinander folgender zweistündiger Perioden ($9^{h}\,40^{min.}$ nachm, — $5^{h}\,40^{min.}$ vorm.)

0.063, 0.076, 0 064 und 0.082 g, und im Versuch XX ist sie ebenfalls während vier nacheinander folgender Perioden (9^h $50^{min.}$ nachm. — 5^h $50^{min.}$ vorm.) 0.075, 0.077, 0.074 und 0.075 g. Im Versuch XXI ist die in derselben Weise berechnete Kohlenstoffabgabe 0.070, 0.071 und 0.080 g (8^h $55^{min.}$ nachm. — 4^h $55^{min.}$ vorm.). Der niedrigste bei den normal ernährten Versuchspersonen beobachtete Ruhewert war 0.078 g pro kg und Stunde.

Wenn also bei einer lange dauernden Unterernährung der Gesammtstoffwechsel in einem gewissen Masse herabgesetzt wird, so bedeutet dies keineswegs, dass die früher festgestellten Zahlen für den Nahrungsbedarf des ruhenden Menschen zu gross wären. Allerdings kann eine unterernährte Person bei einer Kost, welche einer normal ernährten nicht genügen sollte, in vollem Stoffwechselgleichgewicht sein, sie befindet sich aber dessenungeachtet auf Grund der Unterernährung in einem pathologischen Zustand, welcher nicht allein ihre Empfänglichkeit für die Einwirkung allerlei schädlichen Einflüsse erhöht, sondern auch ihre Arbeitsfähigkeit in hohem Grade herabsetzt.



ÖFVERSIGT

AF

FINSKA VETENSKAPS-SOCIETETENS

FÖRHANDLINGAR

LXI.

1918—1919.

A. MATEMATIK OCH NATURVETENSKAPER.

HÄFTET 1.



HELSINGFORS 1920.

Pris 22 mark.

ÖFVERSIGT

AF

FINSKA VETENSKAPS-SOCIETETENS

FÖRHANDLINGAR

LXI.

1918—1919.

A. MATEMATIK OCH NATURVETENSKAPER.

HÄFTET 2.



HELSINGFORS 1920.

Pris 25 mark.


MBL WHOI Library - Serials
5 WHSE 04376